

HELHa
Haute École Louvain en Hainaut

Revue des

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 189, N°3, 2018







Bureau de dépôt : B 5330 Assesse 1 – Agréation n°P207124

Fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, *la Revue des questions scientifiques* est une publication périodique trimestrielle toujours publiée par ladite Société, avec le soutien de la Catégorie paramédicale de la Haute école Louvain-en-Hainaut et de l'Université de Namur. Pluridisciplinaire et francophone, elle est une revue de haute vulgarisation scientifique, consacrée aux sciences, y compris leur actualité, leur histoire, leur philosophie et leur impact sociétal. Elle est membre de l'Association des revues scientifiques et culturelles de Belgique. Tous les manuscrits reçus sont soumis à un comité de lecture constitué d'au minimum deux experts. En fin d'année, leur nom est publié dans la Revue.

La Revue est dépouillée par le Répertoire bibliographique de la philosophie / International Philosophical Bibliography.

Table des matières

Comptes rendus

Rectificatif

Afin de corriger certaines erreurs et de tenir compte des décisions prises lors de l'Assemblée générale de la Société Scientifique de Bruxelles du 11 juin 2018, nous prions nos lecteurs de modifier comme suit le texte figurant dans le bandeau de la deuxième page de couverture de la *Revue des Questions Scientifiques*, vol. 189, 2018, n°1-2 :

Administrateurs de la Société Scientifique de Bruxelles :

Jean-Pierre Antoine - Anne-Martine Baert - Édouard Bouffioulx - Michel Crucifix - Guy Demortier (secrétaire général) - Pierre Devos (vice-président) - Dominique Lambert - Muriel Lepère - Patricia Radelet-de Grave (présidente) - Jean-François Stoffel

Nous présentons nos excuses aux administrateurs concernés et à nos lecteurs.

La rédaction

Revue des Questions Scientifiques, 2018, 189 (3) : 241-275

Comment évaluer les enfants ayant un trouble développemental de la coordination ?

Développement d'un questionnaire évaluant l'habileté manuelle chez les enfants âgés de 5 à 12 ans ayant un trouble développemental de la coordination

Marie Nihoul[1-2] Carlyne Arnould[2]

[1] *Service de pédiatrie, Hôpital civil Marie Curie, CHU de Charleroi*

[2] *Laboratoire forme et fonctionnement humain (FFH), Pôle de recherche en sciences de la motricité, CERISIC, Départements de kinésithérapie et d'ergothérapie, Catégorie paramédicale, Haute école Louvain-en-Hainaut*

marie.nihoul@gmail.com arnouldc@helha.be

Résumé. – Cette étude vise le développement d'un questionnaire valide et fiable mesurant l'habileté manuelle chez les enfants âgés de 5 à 12 ans ayant un trouble développemental de la coordination (TDC). Des normes ont également été développées afin que les professionnels de la santé puissent évaluer le degré d'habileté manuelle des enfants ayant un TDC selon leur âge et leur sexe. Le questionnaire préliminaire incluait 82 activités de la vie journalière, appelées items, sélectionnées à partir d'échelles existantes et d'avis d'experts. Ce questionnaire a été soumis aux parents de 36 enfants ayant un TDC (30 garçons ; 9±2 ans). Les parents devaient estimer la difficulté éprouvée par leur enfant lors de la réalisation de chaque activité. Leurs réponses ont été analysées avec le logiciel Rumm2020 qui utilise le modèle de Rasch afin de sélectionner les items satisfaisant le plus aux critères d'une mesure objective. Le questionnaire a également été soumis à 137 enfants sains (70 garçons ; 9±2 ans) afin de calculer les normes et d'investiguer la validité discriminative du questionnaire. Le questionnaire final, Abilhand-Tdc, constitué de 39 items est un outil unidimensionnel, valide et fiable (R=0,93) capable de discriminer 86 % des enfants ayant un TDC. Abilhand-Tdc a le potentiel psychométrique pour évaluer

l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC âgés de 5 à 12 ans permettant ainsi aux cliniciens de planifier leur traitement, de le mettre en place et d'en vérifier son efficacité.

Abstract. – This study aims to develop a valid and reliable questionnaire for measuring the manual ability of children between the ages of 5 and 12 with Developmental Coordination Disorder (DCD). Developmental norms have also been established in order to assist healthcare professionals in evaluating the level of manual ability of children with DCD according to their age and sex. The preliminary questionnaire included 82 activities of daily life, referred to as items, which were selected from existing scales and experts' opinion. This questionnaire was submitted to the parents of 36 children with DCD (30 boys, aged 9±2). The parents were asked to estimate the level of difficulty experienced by their child while performing each activity. Their responses were analysed with RUMM2020 software, which uses the Rasch model to select the items that satisfy the most closely the criteria of an objective measurement. The questionnaire was also submitted to 137 healthy children (70 boys, aged 9±2) in order to calculate developmental norms and to investigate the discriminative validity of the questionnaire. The final questionnaire consisting of 39 items, called Abilhand-Dcd, is a valid and reliable (R=0,93) unidimensional tool, able to identify 86% of children with DCD. Abilhand-Dcd possesses the psychometric potential to assess the manual ability of children between the ages of 5 and 12 with DCD, thus facilitating the work of clinicians with respect to planning their treatment, implementing it and ascertaining its efficacy.

Mots-clés. – Trouble développemental de la coordination — Dyspraxie — Habileté manuelle — Évaluation — Normes

Plan de l'article

1. Introduction

Durant l'enfance, l'être humain développe un nombre stupéfiant d'habiletés manuelles (Geuze, 2005). L'habileté manuelle peut être été définie comme « la capacité d'une personne à réaliser les activités de la vie journalière nécessitant l'utilisation des membres supérieurs, quelle que soit la stratégie utilisée » (traduit de Penta *et al.*, 2001). Elle constitue un facteur important dans le développement de l'autonomie puisque le contrôle de l'environnement d'un enfant est fortement lié à la maîtrise des activités de la vie journalière (Amato & Ochiltree, 1986). Néanmoins, chez certains enfants, ces habiletés ne se développent pas de manière appropriée et la réalisation de certains gestes est difficile, malhabile, disharmonieuse, lente et/ou fatigante (Mazeau & Le Lostec, 2010).

Les gestes sont un ensemble de mouvements coordonnés dans le temps et l'espace avec l'intention de réaliser une action finalisée (Mazeau & Le Lostec, 2010). Lorsque les séquences de mouvements aboutissant à la réalisation d'un geste volontaire intentionnel (i.e., les praxies) ne se mettent pas en place dans les délais habituels ou se réalisent de manière déficitaire alors que l'enfant a été soumis à un apprentissage habituel, la présence d'un trouble développemental de la coordination (TDC) peut être soupçonnée (Mazeau & Le Lostec, 2010). Le *Manuel diagnostic et statistique des troubles mentaux* (DSM-V) (American Psychiatric Association, 2013) définit le TDC au travers de quatre critères. Premièrement, l'acquisition ou l'exécution de la coordination motrice est nettement en-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique et des opportunités pour l'apprentissage et la mise en pratique de nouvelles habiletés. Les difficultés se manifestent par de la maladresse (e.g., des objets qui s'échappent des mains), une vitesse d'exécution lente ou de mauvaises performances dans les habiletés motrices (e.g., utiliser des ciseaux, écrire, faire des activités sportives). Deuxièmement, la perturbation décrite dans le premier critère interfère de manière significative et persistante avec la performance dans les activités de la vie courante (appropriées pour l'âge chronologique) et a un impact sur la réussite scolaire/académique, les activités préprofessionnelles et

professionnelles, les loisirs et les jeux. Troisièmement, les premiers symptômes apparaissent tôt dans le développement de l'enfant. Quatrièmement, les difficultés motrices ne sont pas consécutives à une déficience intellectuelle ou à un problème visuel et ne sont pas attribuables à une condition neurologique. Bien que le terme de « dyspraxie développementale » reste largement utilisé dans les pays francophones, nous avons préféré employer l'appellation TDC, plus utilisée au niveau international, et la définition donnée par le DSM-V. En effet, cette définition exprime bien les difficultés éprouvées par les enfants atteints de TDC : ils sont maladroits et lents et leur TDC perturbe la réalisation de leurs activités de la vie journalière et leur scolarité.

Le TDC toucherait près de 6 % de la population scolaire (enfants de 5 à 12 ans) selon des études françaises (Breton & Léger, 2007) et canadiennes (Missiuna *et al.*, 2006). Chaque journée constitue un défi considérable pour les enfants ayant un TDC. En effet, les actes de la vie quotidienne ou scolaire sont une suite ininterrompue de mille gestes dont la réalisation rapide et correcte est indispensable aussi bien en termes d'autonomie personnelle que d'interactions sociales (Mazeau & Le Lostec, 2010). Ces gestes incessants et complexes mettent les enfants atteints de TDC en difficulté perpétuelle et épuisent leurs ressources attentionnelles. D'après Gueuze (2005), les principales difficultés chez ces enfants se situent au niveau de l'habillage, de la manipulation d'outils (e.g., beurrer une tartine), de l'écriture, et des jeux de construction et de ballon. Les difficultés à réaliser ces activités sont souvent responsables d'une réelle détresse ressentie par les enfants tout au long de la journée (Missiuna *et al.*, 2006).

Pour les enfants ayant un TDC, il est difficile, voire impossible, d'inscrire cérébralement certains des automatismes programmés et appris (Terrat, 2003). De ce fait, même si l'enfant progresse avec le temps, ses gestes nécessitent toujours un contrôle volontaire très coûteux sur le plan attentionnel. L'enfant est incapable d'automatiser une tâche, comme l'écriture ou le laçage de chaussures, car il a besoin d'un contrôle attentionnel soutenu pour la réaliser. Or cette automatisation est indispensable à la réalisation simultanée de deux ou plusieurs tâches (Mazeau & Le Lostec, 2010). Si aucune des deux tâches n'est automatisée, l'enfant échouera dans les deux activités réalisées simultanément alors qu'il les aurait menées de façon satisfaisante séparément. Il sera donc incapable d'écouter et comprendre son professeur en prenant notes. En effet, quand l'enfant est en double tâche, c'est toujours la tâche de bas niveau (ici, la réalisation de la forme des lettres) qui le mobilise et vide l'essentiel de son réservoir attentionnel, aux dépens de la tâche de haut niveau (ici, l'écoute et la compréhension

de son professeur) qui ne peut, dès lors, pas être traitée de façon convenable (Mazeau & Le Lostec, 2010).

L'enfant atteint de TDC est conscient de sa contre-performance et, à force d'échecs répétés, peut perdre sa motivation face aux difficultés motrices rencontrées. Avec ses pairs, lors de jeux qui requièrent de l'habileté manuelle, l'enfant est exclu à cause de ses performances médiocres et s'isole socialement (Smyth & Anderson, 2000). Quant aux adultes (parents et enseignants), ils peuvent interpréter la lenteur et l'imprécision de l'enfant comme de la paresse, de la mauvaise volonté ou un manque d'intérêt pour l'activité. Tout cela peut affecter l'estime de soi de l'enfant et ainsi aggraver ses difficultés en termes d'habiletés manuelles (Geuze, 2005).

Face aux difficultés rencontrées par les enfants atteints de TDC, les cliniciens ont pour objectif de les rendre les plus autonomes possibles et de favoriser leur participation sociale (Breton & Léger, 2007). À cette fin, les cliniciens peuvent 1°) travailler l'accomplissement des gestes dont la réalisation est incontournable et indispensable (Mazeau & Le Lostec, 2010) ; 2°) pallier les situations génératrices d'un handicap en proposant du matériel adéquat (e.g., latte avec poignée, compas bullseyes), des aides techniques (e.g., mise en place de l'ordinateur et de logiciels adaptés), ou des modifications environnementales (e.g., ajuster la chaise et/ou la hauteur du plan de travail) ; 3°) aider les enfants eux-mêmes mais aussi leurs parents et leurs enseignants à mieux comprendre ce trouble, invisible et souvent incompris par l'entourage.

Afin d'établir des objectifs de traitement, de mettre en place un plan d'intervention et d'en vérifier l'efficacité mais aussi de choisir les adaptations éventuelles, il est important d'évaluer les capacités de l'enfant à répondre aux exigences de la vie quotidienne, notamment en mesurant son habileté manuelle. Celle-ci ne peut pas être mesurée directement car, au même titre que l'intelligence, l'anxiété ou l'altruisme, elle appartient au domaine des variables latentes cachées au sein de la personne. L'habileté manuelle peut cependant être déduite soit à travers l'observation directe par les cliniciens de la performance de l'enfant, soit à travers la perception des parents quant à la difficulté éprouvée par leur enfant lors de la réalisation d'activités manuelles (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Même si les perceptions des parents peuvent être sujettes à une certaine subjectivité, les parents peuvent être plus aptes que les cliniciens à estimer la performance de l'enfant, car ils l'observent dans son contexte de vie réelle en se basant sur une sorte de moyenne des performances de l'enfant observées sur une longue période (Penta *et al.*, 2001).

Cependant, rares sont les outils disponibles pour évaluer l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC (Geuze, 2005). Les différentes échelles existantes génèrent des scores totaux bruts obtenus en sommant les réponses d'une personne aux différentes questions, nommées items du questionnaire (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Ces scores totaux sont observés sur une échelle ordinale : plus l'habileté manuelle de l'enfant est importante et plus le score total est élevé. Ils ont une validité limitée, surtout lorsque des comparaisons quantitatives doivent être faites entre les personnes ou au cours du temps (Merbitz, Morris, & Grip, 1989 ; Wright & Linacre, 1989). En effet, les scores totaux ordinaux permettent de comparer l'habileté manuelle de enfants en termes de « plus grand que », « plus petit que » ou « égal à », mais ne permettent pas de quantifier la quantité de progrès ou de détérioration effectué(e) (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). L'utilisation inadéquate de ces scores peut mener à des interprétations cliniques erronées. Les décisions et actions thérapeutiques peuvent alors être inadéquates et avoir un impact néfaste sur la vie de l'enfant.

Suite aux limitations des scores totaux ordinaux des questionnaires, le modèle de Rasch a été développé (Rasch, 1980). Il est de plus en plus utilisé dans le développement des outils de mesures de santé (Couturat, 2012). Le modèle de Rasch permet de convertir les scores totaux ordinaux en mesures à intervalles localisées sur une échelle linéaire dont l'unité de mesure est constante (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Ce modèle statistique formule les exigences d'une mesure objective et permet de vérifier si elles sont rencontrées dans le questionnaire (Arnould *et al.*, 2012).

L'objectif de cette étude est le développement d'Abilhand-Tdc, un questionnaire valide et fiable mesurant l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC âgés de 5 à 12 ans. Le questionnaire sera développé grâce à l'utilisation du modèle de Rasch qui permettra de vérifier s'il satisfait aux critères d'une mesure objective. Des normes seront également développées afin que les professionnels de la santé puissent évaluer le degré d'habileté manuelle des enfants ayant un TDC par rapport à des enfants sains du même âge et du même sexe. Ces normes permettront en outre de vérifier la capacité du questionnaire à discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains.

2. Méthodes

2.1. Participants

Les enfants ayant un TDC étaient âgés de 5 à 12 ans. La limite inférieure de cette tranche d'âge a été définie d'après l'étude longitudinale de Silva et Ross (d'après Geuze, 2005) qui montre qu'avant l'âge de 5 ans, le développement moteur n'est pas stable et que le système perceptivo-moteur n'est pas suffisamment établi pour permettre un diagnostic fiable d'un TDC. Les enfants devaient être diagnostiqués d'un trouble développemental de la coordination ou d'une dyspraxie développementale. Les enfants présentant une déficience mentale, un trouble neuromoteur, neurosensoriel ou neuromusculaire n'étaient pas inclus dans l'étude. Cent vingt-trois questionnaires (version expérimentale d'ABILHAND-TDC) ont été distribués, en Belgique, entre juin et septembre 2013, dans des hôpitaux (services de neurologie et de pédiatrie), des établissements d'enseignement spécialisé de type 8, des centres de rééducation ainsi qu'à des professionnels indépendants. Parmi les 123 questionnaires distribués, 37 ont été complétés (30 % des questionnaires distribués), mais seuls 34 ont pu être analysés (92 % des questionnaires remplis). En effet, un enfant présentait une déficience mentale associée, un autre souffrait du syndrome de Kabuki et le dernier présentait une dysgraphie isolée. Ces questionnaires n'ont donc pas été inclus dans l'étude afin de respecter les critères diagnostiques d'un TDC ou d'une dyspraxie développementale.

Afin de développer des normes, des enfants sains âgés de 5 à 12 ans ont également été recrutés. Ces derniers ne devaient pas présenter de pathologie qui puisse avoir un impact sur l'habileté manuelle. Trois-cent-cinquante questionnaires (version expérimentale d'ABILHAND-TDC) ont été transmis, en Belgique, entre juin et septembre 2013, aux établissements scolaires d'enseignement maternel et primaire ordinaire, aux mouvements de jeunesse, à une école de jeunes d'athlétisme ainsi qu'à des stages de vacances. Cent-quarante-deux questionnaires ont été récupérés (40 % des questionnaires distribués) et 137 ont été analysés (96 % des questionnaires reçus). Un enfant ne rentrait pas dans la tranche d'âge (14 ans) et deux enfants présentaient des troubles instrumentaux non identifiés (enseignement de type 8) pouvant avoir un impact sur l'habileté manuelle. Les données de ces enfants n'ont donc pas été incluses dans l'étude. Deux autres enfants révélaient le diagnostic d'un TDC ou d'une dyspraxie développementale ; leurs données ont donc été analysées dans l'échantillon d'enfants atteints de TDC comprenant dès lors 36 sujets.

Les enfants atteints de TDC ainsi que les enfants sains et leurs parents ont été informés du but de l'étude et du déroulement de celle-ci. Tous les parents des participants de l'étude ont donné leur consentement éclairé par écrit. La figure 1 récapitule le processus de recrutement des deux échantillons.

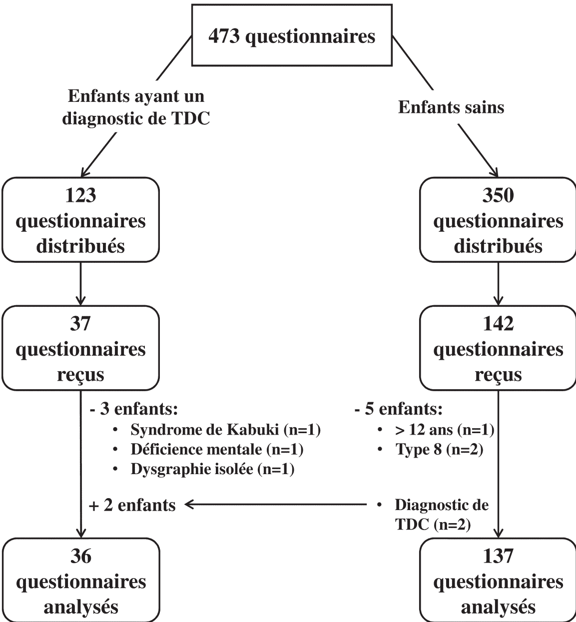


Figure n°1.
Processus de recrutement de l'échantillon d'enfants atteints de trouble développemental de la coordination (TDC) (*n* = 36) et de l'échantillon d'enfants sains (*n* = 137).

2.2. Développement du questionnaire Abilhand-Tdc

Le questionnaire a été conçu pour couvrir la gamme la plus large possible d'activités manuelles réalisées par les enfants en insistant particulièrement sur les activités bimanuelles nécessitant une certaine coordination. La version préliminaire du questionnaire incluait 114 activités sélectionnées à partir d'échelles existantes tels que le questionnaire Abilhand-Kids (Arnould *et al.*, 2004 ; Arnould 2006), le questionnaire des Habiletés Motrices Précoces (*Early Years Movement Skills Checklist* [EYMSC]) (Chambers & Sugden, 2002), le Questionnaire d'Observation Motrice pour des Professeurs (MOQ-T) (Van Dellen, Vaessen, & Schoemaker, 1990), le *Developmental Coordination Disorder Questionnaire* (DCDQ) (Wilson *et al.*, 2000), le Questionnaire d'Activités de la Vie Quotidienne (AVQ) version 2003 (Geuze, 2005), les échelles d'iden-

tification précoce pour les enfants avec un TDC (*The Children Activity Scales for the early identification of children with DCD* [ChAS-P/T]) (Rosenblum, 2006), et le questionnaire de la Batterie d'Évaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC) (Henderson & Sugden, 1992). Le questionnaire préliminaire comprenait des items concernant l'alimentation (*n*=22), les soins corporels (*n*=14), l'habillage (*n*=24), les activités scolaires (*n*=18), les loisirs (*n*=20) ainsi que des items « divers » (*n*=16).

Ces 114 items ont ensuite été soumis à 8 ergothérapeutes exerçant avec des enfants atteints d'un TDC. Ces ergothérapeutes devaient donner leur avis à propos de la pertinence des items pour des enfants atteints d'un TDC. Quarante items ont été supprimés car les activités semblaient trop faciles pour la population visée (e.g., « allumer une lampe de chevet ») ou parce qu'ils étaient redondants (e.g., « se laver le visage » et « se laver le haut du corps » ; un seul des deux items étaient conservés). Trente-deux items ont été modifiés pour en faciliter la compréhension (e.g., « retourner la manche d'un pull » remplacé par « remettre à l'endroit une manche qui est à l'envers ») en se basant sur l'avis des 8 experts et sur l'avis de deux parents d'enfants ayant un TDC. Enfin, 8 activités non inclues dans la version préliminaire du questionnaire ont été rajoutées car elles étaient jugées pertinentes par les ergothérapeutes.

2.3. Procédure de remplissage du questionnaire

Les parents des enfants atteints de TDC et des enfants sains devaient estimer le degré de difficulté qu'éprouvait leur enfant lorsqu'il réalisait les activités du questionnaire, quelle que soit la stratégie utilisée, sur une échelle à 3 catégories de réponse : « Impossible » (0), « Difficile » (1) ou « Facile » (2). La réponse était « impossible » lorsque l'enfant était incapable de réaliser l'activité sans aide humaine ou technique. La réponse était « difficile » lorsque l'enfant était capable de réaliser l'activité sans aide quelconque (humaine ou technique) mais avec difficulté (i.e., avec beaucoup d'effort, avec inconfort, incorrectement, très lentement, avec imprécision, sans aucun soin). La réponse était « facile » lorsque l'enfant était capable de réaliser l'activité sans aide quelconque et sans difficulté (i.e., sans effort, avec confort, correctement, à la vitesse appropriée, précisément et soigneusement). Si les parents ne pouvaient pas estimer la difficulté de l'activité pour leur enfant car celui-ci n'y avait jamais été confronté, ils cochaient le point d'interrogation (« ? ») et la réponse était alors considérée comme une valeur manquante. Cependant, si l'activité n'avait jamais été tentée car sa réalisation était impossible, les parents devaient cocher « impossible » plutôt que « ? ».

2.4. Analyses statistiques

2.4.1. Modèle de Rasch

Les réponses des parents au questionnaire expérimental ont été analysées à l'aide du logiciel Rumm2020® (Laboratoire RUMM Pty Ltd, Perth, Western Australia) (Andrich, Sheridan, & Luo, 2004) utilisant le modèle de Rasch (Rasch, 1980). Ce modèle statistique prescrit que la probabilité de réponse du parent dépend uniquement du niveau d'habileté manuelle de l'enfant, de la difficulté de l'item et de la difficulté des seuils. Les seuils de chaque item correspondent au niveau d'habileté manuelle nécessaire pour obtenir une probabilité égale de choisir « difficile » plutôt qu'« impossible » ou « facile » plutôt que « difficile ». Ils constituent les graduations de l'échelle de mesure.

Le modèle de Rasch utilise une transformation logarithmique pour convertir les scores totaux bruts (obtenus en additionnant les catégories de réponse donnée à chaque item du questionnaire) en mesures linéaires exprimées en logits. Le logit est défini comme le logarithme népérien du rapport entre la probabilité de réussite d'un sujet à un item et la probabilité d'échec de ce même sujet à ce même item. Pour une interprétation plus aisée de l'échelle de mesure, le logit a ensuite été converti sur une échelle en centiles (en pour cent). Cette unité, constante à travers toute l'échelle de mesure, est utilisée pour exprimer, d'une part l'habileté manuelle des sujets et d'autre part, la difficulté des items (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

2.4.2. Sélection des items pour créer le questionnaire Abilhand-Tdc

À partir des 82 items soumis aux parents, des analyses successives ont été réalisées pour supprimer les items ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective (i.e., items non extrêmes, pertinents, dont les catégories de réponse sont ordonnées, bien ciblés par rapport à l'échantillon, présentant une indépendance locale, unidimensionnels). Le lecteur intéressé trouvera plus de détails quant au modèle de Rasch et quant à la sélection des items dans l'annexe 1.

2.4.3. Fiabilité de l'échelle

La fiabilité d'une échelle indique la quantité d'erreurs de mesure associée aux scores de cette échelle. Idéalement, les mesures observées ne devraient refléter que la quantité de la variable mesurée, à savoir l'habileté manuelle. Cependant, en pratique, ces mesures sont toujours entachées d'un certain degré d'erreurs.

Un coefficient de fiabilité (R) proche de 1 signifie que l'outil est fiable car les mesures observées représentent essentiellement les capacités réelles des enfants.

Un autre indice de fiabilité, l'index de séparation des personnes (G), a été développé dans le cadre du modèle de Rasch (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet de calculer le nombre de niveaux d'habileté manuelle différents qui peuvent être statistiquement distingués, grâce à ABILHAND-TDC, à l'intérieur de l'échantillon (Fisher, 1992 ; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Les formules du coefficient de fiabilité, de l'index de séparation des personnes, et du nombre de niveaux d'habileté manuelle statistiquement distingués sont indiquées dans l'annexe 1.

2.4.4. Validité de l'échelle

La validité conceptuelle/théorique consiste à vérifier que les mesures du questionnaire supportent les concepts théoriques qu'elles sont censées refléter (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Une des hypothèses théoriques facilement vérifiable est que l'habileté manuelle des enfants sains devrait être supérieure à celle des enfants atteints de TDC. Pour vérifier cette hypothèse, le questionnaire a été soumis à des enfants sains âgés de 5 à 12 ans (cf. annexe 1). La comparaison des habiletés manuelles des enfants ayant un TDC avec celles des enfants sains a été effectuée à l'aide d'un test de Mann-Whitney. Une *p*-valeur inférieure à 0,05 indiquerait une différence statistiquement significative entre les deux groupes d'enfants.

2.4.5. Développement des normes

La soumission du questionnaire à l'échantillon d'enfants sains âgés de 5 à 12 ans a également permis de calculer des normes en termes de médianes, percentiles, minima et maxima (car les données n'étaient pas distribuées de façon normale) (cf. annexe 1). Notons que les données des enfants sains de 11 et 12 ans ont été rassemblées car notre échantillon incluait peu d'enfants de 12 ans. Par ailleurs, il n'existait pas de différence significative de l'habileté manuelle entre ces deux tranches d'âge. Un test de Mann-Whitney a été réalisé pour comparer l'habileté manuelle des garçons et les filles. Une ANOVA à un facteur sur les rangs de Kruskal-Wallis a permis d'investiguer l'effet de l'âge sur l'habileté manuelle. Afin de mettre en évidence les classes d'âge entre lesquelles il existait une différence significative, des comparaisons multiples ont été effectuées en utilisant la méthode de Dunn. Le seuil de signification alpha a été fixé à 0,05 pour toutes les statistiques conventionnelles.

3. Résultats

3.1. Participants

Le tableau 1 présente la description de l'échantillon des enfants atteints d'un TDC (*n*=36). Les questionnaires ont été remplis par les parents d'enfants dont l'âge moyen était de 9 ans. Il y avait un nombre important de garçons (*n*=30) et 28 % des enfants étaient gauchers. Trente-et-un enfants suivaient un enseignement ordinaire et les 5 autres enfants suivaient un enseignement spécialisé de type 8 (troubles instrumentaux). Dans notre échantillon, 11 % des enfants avaient reçu un diagnostic de TDC, 48 % avaient reçu un diagnostic de dyspraxie développementale (DD) sans type spécifié, 33 % avaient reçu un diagnostic de DD visuo-spatiale et 8 % avaient reçu un diagnostic de DD visuo-spatiale et constructive. Tous les enfants, excepté un, suivaient une prise en charge en rééducation, principalement de l'ergothérapie (77 %) et de la logopédie/orthophonie (71 %). La plupart des questionnaires ont été remplis par la mère de l'enfant sans la présence de ce dernier.

Age (en années), moyenne ± SD [min-max]	9,33 ± 2,11 [5,71 - 12,97]
Sexe	
Garçons	30
Filles	6
Latéralité	
Droitier	25
Gaucher	10
Réponse manquante	1
Type d'enseignement	
Ordinaire	31
Spécialisé (type 8)	5
Diagnostic reçu (terminologie utilisée)	
TDC	4
Dyspraxie développementale sans type spécifié	17
Dyspraxie développementale visuo-spatiale	12
Dyspraxie développementale visuo-spatiale et constructive	3
Rééducation	
Ergothérapie	27
Logopédie/orthophonie	25
Psychomotricité	12
Kinésithérapie	8
Neuropsychologie	7
Pas de rééducation	1

Tableau n°1.
Description de l'échantillon d'enfants atteints de TDC (*n*=36)

TDC = Trouble développemental de la coordination ; SD = écart-type ; min = minimum ; max = maximum.

L'échantillon des enfants sains (*n*=137) présentait un âge moyen de 9 ans (moyenne ± SD [min-max] : 8,87 ± 2,26 [5,01 - 12,71] ans). Dans cet échantillon, il y avait un nombre plus ou moins égal de garçons (*n*=70) et de filles (*n*=67) et seulement 18 % des enfants étaient gauchers. Tous les enfants suivaient un enseignement ordinaire. La plupart des questionnaires ont été remplis par la mère de l'enfant sans la présence de ce dernier.

3.2. Sélection des items

Quarante-trois items ne satisfaisaient pas aux critères d'une mesure objective et ont donc été supprimés. Trente-neuf items non extrêmes, pertinents, unidimensionnels, bien ciblés par rapport à l'échantillon, ayant les 3 catégories de réponse ordonnées et présentant une indépendance locale constituent donc la version finale d'ABILHAND-TDC. Le lecteur intéressé trouvera le détail de la sélection des items d'ABILHAND-TDC dans l'annexe 2.

3.3. Contenu d'ABILHAND-TDC

Le questionnaire final, ABILHAND-TDC, est constitué de 39 items couvrant 5 domaines de la vie journalière de l'enfant sur les 6 domaines d'origine : alimentation (9 items), soins corporels (6 items), habillage (7 items), activités scolaires (6 items), loisirs (11 items). Les nombres d'items retenus dans chaque domaine de la vie journalière en fonction de la phase de développement d'ABILHAND-TDC sont présentés dans l'annexe 3.

3.4. Propriétés métriques d'ABILHAND-TDC

Le calibrage du questionnaire final est présenté dans le tableau 2. Les items sont classés de haut en bas par ordre de difficulté croissante et se distribuent sur une étendue de plus ou moins 30 % de logits. Des valeurs en pourcentage de logits plus élevées indiquent des activités plus difficiles. Par exemple, l'activité quotidienne « ouvrir une boîte à tartine (type couvercle) » requiert le plus bas niveau d'habileté manuelle alors que l'item « lacer ses chaussures » requiert le plus haut niveau d'habileté manuelle. L'erreur standard (SE), associée à la difficulté des items, indique la précision de l'estimation (valeur moyenne de la SE = 2,03 %). L'indice d'ajustement χ^2 et ses probabilités indiquent que les 39 items contribuent à la définition d'une mesure unidimensionnelle de l'habileté manuelle (probabilités du $\chi^2 > 0,05$).

Items	Difficulté (% de logits)	SE (% de logits)	Chi-carré (χ^2)	Probabilité du χ^2
01. Ouvrir une boîte à tartine (type couvercle)	37,88	2,41	0,34	0,84
02. Ouvrir un pot de yaourt	37,95	2,35	0,62	0,73
03. Ouvrir un tube de dentifrice	38,29	2,37	2,53	0,28
04. Utiliser des jeux vidéos	39,80	2,33	2,10	0,34
05. Tailler un crayon	40,28	2,09	1,22	0,54
06. Mettre et retirer des gants	41,23	2,02	0,39	0,81
07. Remonter et descendre une tirette	41,47	2,03	1,70	0,42
08. Emboîter des briques (type légo)	42,10	2,01	4,05	0,13
09. Taper en rythme dans les mains	42,28	1,99	3,47	0,17
10. Construire une tour avec des cubes en bois	42,53	2,04	4,23	0,12
11. Lancer un ballon à quelqu'un à deux mains	42,54	2,00	1,34	0,51
12. Etaler le dentifrice sur une brosse à dents	42,56	2,07	0,69	0,70
13. Se laver le corps	42,78	1,99	2,60	0,27
14. Réaliser un puzzle de 20 pièces	43,45	2,00	4,98	0,08
15. Dévisser le bouchon d'une bouteille	43,53	2,08	0,31	0,85
16. Reproduire les gestes des comptines	44,27	2,07	0,56	0,75
17. Eplucher une banane	44,30	2,04	0,43	0,80
18. Enfiler ses chaussettes	45,43	1,80	0,60	0,73
19. Etre indépendant aux toilettes	45,78	1,81	0,14	0,93
20. Plier une feuille en deux	45,91	2,09	0,71	0,70
21. S'essuyer le corps après un bain ou une douche	46,20	2,11	2,06	0,35
22. Fermer des pressions	46,38	1,74	0,58	0,74
23. Peindre avec un pinceau	46,54	2,22	1,53	0,46
24. Se moucher	47,31	1,84	2,59	0,27
25. Ouvrir un paquet de chips	48,10	1,76	0,65	0,72
26. Utiliser une perforatrice	49,56	1,76	0,32	0,84
27. Remettre à l'endroit une manche qui est à l'envers	51,09	2,00	1,92	0,38
28. Attraper un ballon entre les deux mains	52,29	2,07	5,21	0,07
29. Remplir un verre d'eau sans renverser	53,18	2,62	2,39	0,30
30. Tenir 4-5 cartes en éventail à deux mains	53,22	1,76	1,08	0,58
31. Beurrer une tartine	53,99	2,06	0,10	0,95
32. Tracer une ligne droite avec une latte	54,03	2,17	2,17	0,33
33. Couper de la viande à l'aide d'un couteau	55,48	1,74	3,12	0,20
34. Découper des images et des formes	56,75	2,39	1,83	0,40
35. Lancer une balle dans un récipient	57,32	2,08	1,60	0,44
36. Peler une clémentine	57,53	1,73	4,28	0,11
37. Boutonner et déboutonner un vêtement	57,98	2,06	1,74	0,41
38. Frapper une balle avec une raquette	61,74	1,89	0,42	0,80
39. Lacer ses chaussures	67,87	1,71	0,56	0,75

Tableau n°2.
Calibration d'Abilhand-Tdc chez les enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans

TDC = Trouble développemental de la coordination ; SE= Erreur standard.

3.5. Description d'Abilhand-Tdc

La façon d'utiliser Abilhand-Tdc est illustrée à la figure 2. Le panneau du haut montre la distribution des mesures de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC. L'habileté manuelle des enfants de l'échantillon varie de 41 à 85 % de logits. Le panneau du bas représente la relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de l'habileté manuelle (en % de logits). Le

score total maximal est de 78 points (39 items * score maximal de 2). Cette relation est approximativement linéaire entre des scores totaux de 10 et 67 points. Dans cette étendue, une progression d'un point sur le score total brut

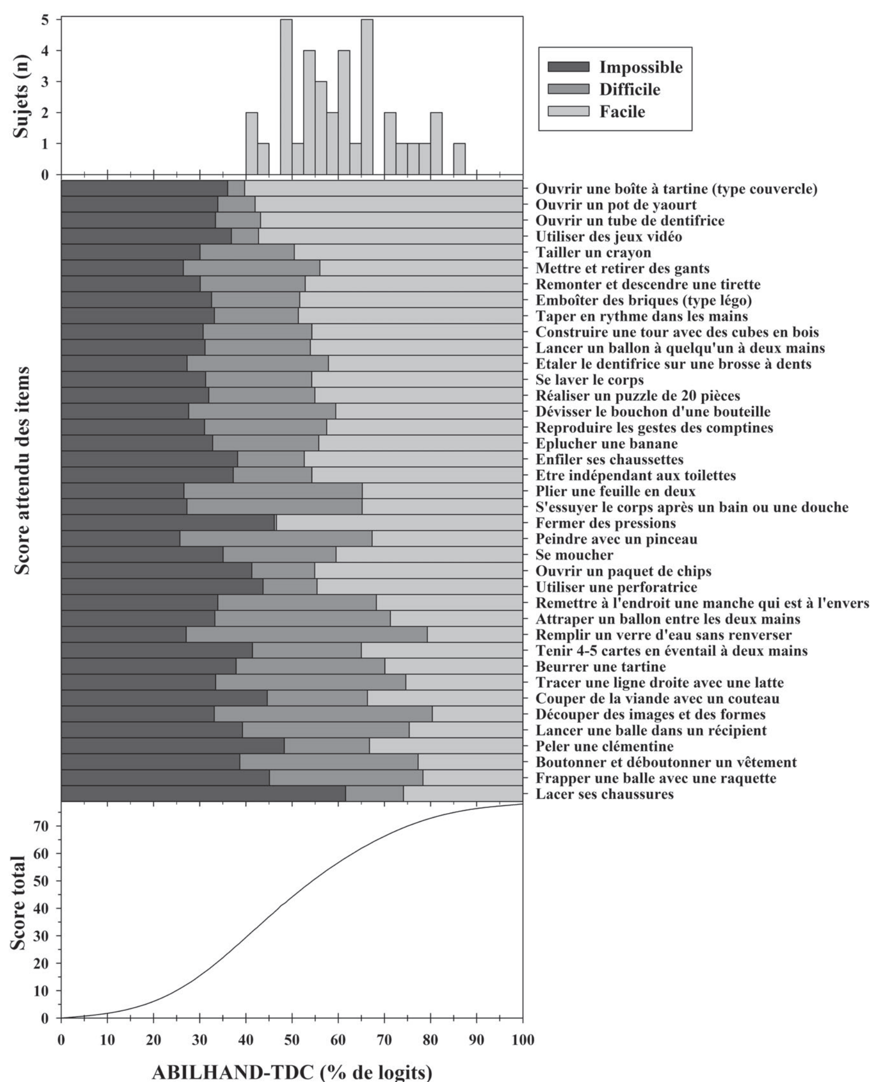


Figure n°2.
Description du questionnaire ABILHAND-TDC.

Panneau du haut : distribution des mesures de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC (*n*=36). Panneau du milieu : score attendu pour chaque item en fonction de l'habileté manuelle. Panneau du bas : relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de l'habileté manuelle mesurées par ABILHAND-TDC.

(par exemple de 58 à 59 points) représente presque la même progression dans l'habileté manuelle (0,9 % de logits). En dehors de cette plage centrale, la même progression du score total brut (par exemple de 1 à 2 points) représente une plus grande progression dans l'habileté manuelle (4,39 % de logits). Cette différence représente la non-linéarité des scores totaux bruts. Le panneau du milieu représente le score attendu (parmi les 3 catégories de réponse) qui devrait être obtenu pour chaque activité manuelle d'ABILHAND-TDC, compte tenu du score total brut et de l'habileté manuelle. Les items sont classés de haut en bas par ordre croissant de difficulté. Par exemple, un enfant avec un score total de 45 points a une mesure d'habileté manuelle de 50% de logits et a une forte probabilité de répondre « impossible » à l'activité « lacer ses chaussures », « difficile » aux 33 suivantes sauf au 22[e] item « fermer des pressions » où l'enfant devrait répondre « facile » ainsi qu'aux 4 dernières activités.

3.6. Fiabilité d'ABILHAND-TDC

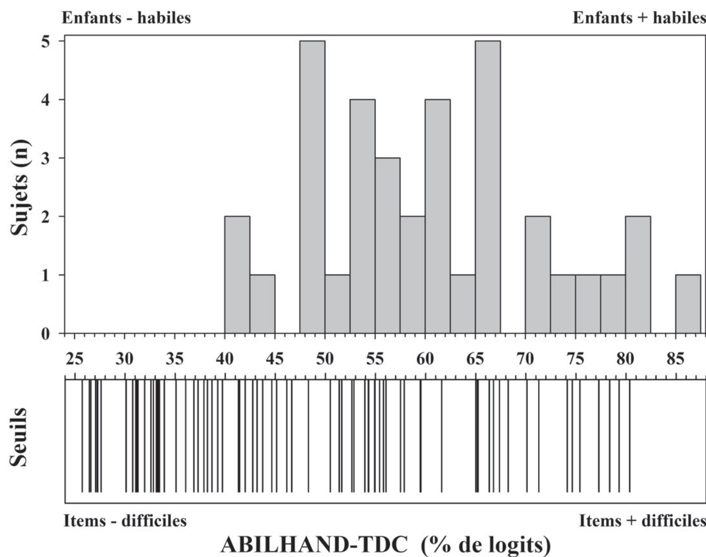


Figure n°3.
Distribution de l'habileté manuelle des enfants atteints de trouble développemental de la coordination (TDC) (panneau du haut) et celle des seuils des items d'ABILHAND-TDC (panneau du bas).

La distribution des mesures de l'habileté manuelle et celle des seuils sont présentées à la figure 3. La moyenne des seuils des items est fixée par convention à 50 % de logits. La mesure moyenne de notre échantillon d'enfants atteints de TDC était de 60 % de logits indiquant que, globalement, les enfants étaient

légèrement plus habiles que l'échelle de mesure ou que les activités étaient légèrement trop faciles pour eux. En effet, 77 % des enfants ayant un TDC se situaient au-dessus de la difficulté moyenne du questionnaire (i.e., 50 % de logits).

Cependant, les items de l'échelle sont relativement bien ciblés par rapport à l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC. Les seuils des items couvrent uniformément un large éventail d'habiletés manuelles allant de 25 % à 80 % de logits. Parmi cette étendue de mesures, il n'existe pas de zones majeures d'habileté manuelle non couvertes par les seuils de l'échelle de mesure, ce qui empêcherait de quantifier précisément les sujets. De ce fait, la fiabilité d'Abilhand-Tdc est excellente (R=0,93) dans notre échantillon. La précision d'Abilhand-Tdc est suffisamment élevée pour que le questionnaire puisse distinguer un peu plus de 5 niveaux d'habileté manuelle statistiquement différents au sein de l'échantillon.

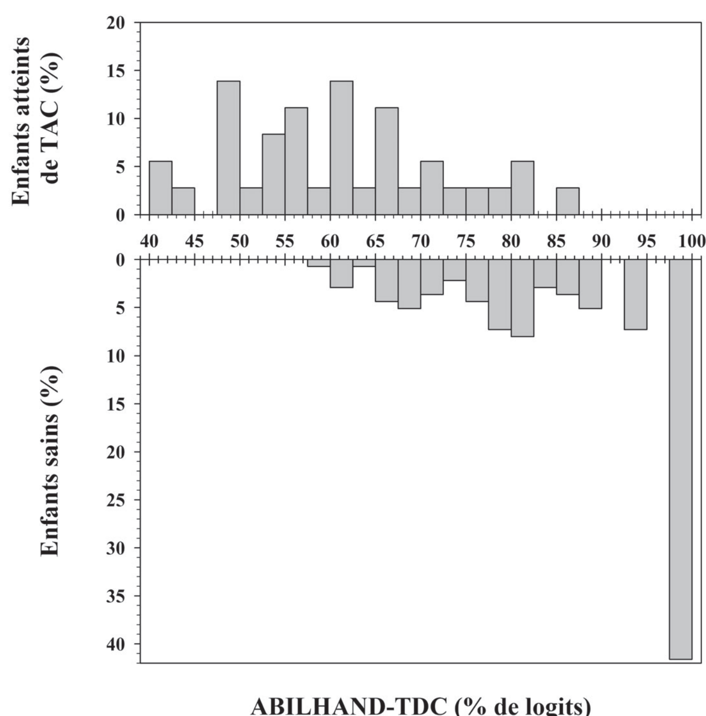


Figure n°4.
Histogramme de fréquence de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC (panneau du haut ; *n*=36) et des enfants sains (panneau du bas ; *n*=137) âgés de 5 à 12 ans.

3.7. Validité d'Abilhand-Tdc

La figure 4 montre les histogrammes de fréquence des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans (panneau du haut) et des enfants sains du même âge (panneau du bas) en fonction de l'habileté manuelle mesurée par le questionnaire Abilhand-Tdc. Les enfants sains sont décalés vers la droite par rapport aux enfants ayant un TDC. En effet, les enfants sains (médiane [Q1-Q3] = 88,52 [77,71-100] % de logits) ont une habileté manuelle significativement supérieure (p<0,001) à celle des enfants atteints de TDC médiane [Q1-Q3] = 60,41 [52,76-66,76] % de logits). Lorsque l'habileté manuelle est mesurée avec le questionnaire Abilhand-Tdc, tous les enfants atteints de TDC ont une habileté manuelle inférieure à 87,5 % de logits alors qu'un peu plus de la moitié des enfants sains ont une habileté supérieure à celle-ci. De plus, 42 % des enfants sains ont obtenu un score maximal (habileté manuelle de 100 % de logits). L'hypothèse selon laquelle le questionnaire Abilhand-Tdc est capable de discriminer l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC par rapport à celle des enfants sains est ainsi confirmée.

3.8. Normes d'Abilhand-Tdc

Les normes ont été établies en fonction de l'âge mais pas du sexe. En effet, l'habileté manuelle des garçons (médiane [Q1-Q3] = 86 [75-100] % de logits) n'étaient pas significativement différente de celle des filles (médiane [Q1-Q3] = 93 [80-100] % de logits) (p = 0,134). Les normes des garçons et des filles ont donc été regroupées.

L'habileté manuelle s'améliore significativement avec l'âge de l'enfant (p<0,001). Les enfants de 5 ans (médiane [Q1-Q3] = 75 [67-80] % de logits) ont une habileté manuelle significativement moindre que les enfants de 10 ans (médiane [Q1-Q3] = 100 [89-100] % de logits) et de 11-12 ans (médiane [Q1-Q3] = 100 [100-100] % de logits). Les enfants de 6 ans (médiane [Q1-Q3] = 83 [72-88] % de logits) et de 7 ans (médiane [Q1-Q3] = 83 [76-97] % de logits) ont également une habileté significativement moindre que les enfants de 11-12 ans. La figure 5 illustre l'effet de l'âge sur l'habileté manuelle des enfants sains âgés de 5 à 12 ans. Une relation significative modérée existe donc entre l'âge et l'habileté manuelle chez les enfants sains (R=0,60 ; p<0,001) alors qu'elle n'existe pas chez les enfants atteints de TDC (R=0,26 ; p=0,131). Chez ces derniers, les enfants les moins habiles n'étaient pas forcément les enfants les plus jeunes et inversement.

Le tableau 3 rapporte la médiane, les percentiles (P), les valeurs les plus basses (Min) et les plus élevées (Max) des mesures d'habileté manuelle (exprimée en % de logits) pour les enfants sains âgés de 5 à 12 ans. Le 5e percentile (P5) indique l'habileté manuelle minimale à acquérir pour chaque tranche d'âge afin d'être dans les normes. Les enfants se trouvant en-dessous de P5 sont considérés comme ayant une habileté manuelle déficitaire. Dans notre étude, le questionnaire ABILHAND-TDC était capable de discriminer 86 % des enfants atteints de TDC étant donné que 31 de ces enfants sur 36 étaient situés sous P5.

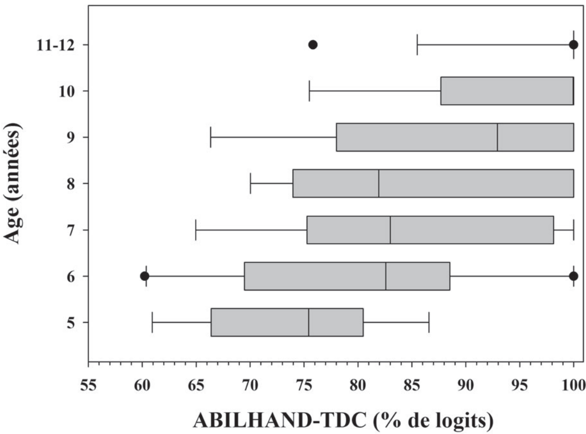


Figure n°5.
Boîte à moustaches montrant les distributions des mesures d'habileté manuelle (exprimées en % de logits) des enfants sains âgés de 5 à 12 ans.

Les lignes verticales à l'intérieur des boîtes représentent les médianes ; les boîtes indiquent les 25e et 75e percentiles ; les lignes horizontales en dehors des boîtes indiquent les 10e et 90e percentiles ; et les points en dehors des boîtes indiquent les 5e et 95e percentiles.

Age (années)	N	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Min	Max
5	18	60,91	62,12	66,90	75,43	80,45	83,28	86,95	60,60	93,25
6	19	60,36	65,95	73,72	82,58	87,12	99,79	100	60,23	100
7	16	65,38	68,59	76,51	83,00	94,88	100	100	56,00	100
8	16	70,15	71,21	74,72	81,93	100	100	100	68,48	100
9	19	66,28	68,71	78,92	92,93	100	100	100	65,18	100
10	14	76,69	81,20	89,7	99,95	100	100	100	71,50	100
11-12	36	78,00	88,52	100	100	100	100	100	70,92	100

Tableau n°3.
Normes d'ABILHAND-TDC pour des enfants sains âgés de 5 à 12 ans.

N = Nombre d'enfants ; P = percentile ; Min = valeur minimale ; Max = valeur maximale.

4. Discussion

Le but de cette étude était de développer un questionnaire évaluant l'habileté manuelle chez les enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans et d'établir des normes. Le questionnaire a été élaboré à partir d'échelles existantes. Après une première sélection réalisée selon l'avis des experts, seuls les items les plus pertinents (n=82) ont été conservés. La deuxième sélection utilisant le modèle de Rasch, a permis de conserver 39 items manuels présentant de bonnes qualités psychométriques.

Le modèle de Rasch a également permis la transformation des scores totaux bruts, obtenus après remplissage du questionnaire par les parents, en mesures linéaires qui peuvent être utilisées pour suivre l'évolution de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC. La difficulté des items a pu être déterminée en fonction des réponses données par les parents à chacun des items. Les items ont pu être classés par ordre croissant de difficultés selon le niveau d'habileté manuelle nécessaire à leur réussite. Les enfants ont également pu être classés sur cette échelle selon leur niveau d'habileté manuelle.

Les 39 items sélectionnés pour la version finale du questionnaire montrent une progression continue de difficultés et couvrent un large éventail d'habiletés manuelles permettant de distinguer 5 niveaux d'habileté manuelle statistiquement différents au sein de l'échantillon. Au sein des 39 items finaux, 56 % des items représentent les activités de la vie quotidienne (alimentation, soins corporels et habillage), 15 % constituent les activités scolaires, et 29 % les activités de loisirs.

Le questionnaire Abilhand-Tdc est une échelle unidimensionnelle qui mesure de façon dominante l'habileté manuelle sans que d'autres caractéristiques ne viennent biaiser les résultats de l'évaluation. De plus, il montre une très bonne précision (coefficient de fiabilité de 0,93). La validité discriminative du questionnaire (i.e., capacité de l'outil à discriminer l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC de celles des enfants sains) a été confirmée avec un échantillon témoin de 137 enfants sains. En effet, les mesures d'habileté manuelle des enfants atteints de TDC étaient significativement inférieures à celles des enfants sains. Il est cependant important de noter qu'Abilhand-Tdc ne peut pas être utilisé comme outil diagnostique étant donné qu'il y a un chevauchement entre les mesures des enfants atteints de TDC et les mesures des enfants sains (cf. figure 4). Les qualités psychométriques du questionnaire Abilhand-Tdc indiquent que cet outil a le potentiel pour mesurer des changements cliniquement significatifs suite à une prise en charge en réadaptation.

Cependant, la reproductibilité et la sensibilité aux changements du questionnaire doivent encore être investiguées dans des études longitudinales.

Des normes d'habileté manuelle ont été établies pour le questionnaire ABILHAND-TDC en le soumettant à un échantillon d'enfants sains âgés de 5 à 12 ans. L'habileté manuelle augmente avec l'âge, observation qui est cohérente avec des études antérieures montrant que plus l'enfant vieillit, plus son niveau d'habileté manuelle est élevé (Delquié, 2011 ; Quintana, 2009). La population ne suivant pas une distribution normale, les normes ont été exprimées, pour chaque âge, en se référant à la médiane et aux différents percentiles. Le 5e percentile désigne le niveau minimal à acquérir pour chaque tranche d'âge afin d'être dans les normes. Si le score de l'enfant est inférieur à ce dernier, il présente alors un déficit d'habileté manuelle. Le questionnaire ABILHAND-TDC était capable de discriminer 86 % de l'échantillon d'enfants atteints de TDC par rapport à l'échantillon d'enfants sains en prenant le 5e percentile comme valeur de référence. L'utilisation des normes permet au clinicien d'évaluer le vrai niveau d'habileté manuelle des enfants atteints de TDC en prenant en compte l'effet des changements développementaux liés à l'âge.

Contrairement aux enfants sains, l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC n'augmente pas avec l'âge. En effet, le TDC se caractérise par une grande hétérogénéité tant dans ses manifestations symptomatiques que dans l'ampleur de celles-ci (Albaret, 2005 ; Gérard, 2011). De plus, les difficultés observées lors de la réalisation de tâches manuelles peuvent dépendre de la présence ou non de comorbidité (Vaivre-Douret, 2008). D'après l'étude de Kaplan *et al.* (1998), 68 % des enfants atteints de TDC présentent une comorbidité, le plus fréquemment un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) ou d'autres troubles des apprentissages (dyslexie et dysgraphie).

Grâce au questionnaire ABILHAND-TDC, le clinicien pourra connaître l'impact d'un TDC isolé ou accompagné de troubles associés (TDA-H ou autres troubles d'apprentissage) sur la vie quotidienne de l'enfant. Les informations récoltées permettront d'obtenir une « photographie » du patient à un moment donné de la prise en charge et d'en faire apparaître les situations problématiques récurrentes. Ces dernières peuvent être ensuite approfondies et investiguées avec plus de précision par d'autres tests. Par exemple, si l'enfant est incapable de construire une tour avec des cubes, un test des praxies constructives peut alors être réalisé.

Il est important de noter qu'ABILHAND-TDC permet de mesurer l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC mais ne permet pas de percevoir l'ef-

fort attentionnel que les enfants mobilisent lors de la réalisation des tâches manuelles. Il serait intéressant, d'un point de vue clinique, de prendre en compte le coût attentionnel que la réussite de la tâche implique. En effet, il est très difficile, voire impossible, pour les enfants atteints de TDC de réaliser les tâches quotidiennes avec économie attentionnelle. C'est pourquoi, le questionnaire Abilhand-Tdc ne peut être utilisé qu'en complément d'autres bilans investiguant ce coût attentionnel.

La nature hiérarchique de l'échelle, grâce au classement des items par ordre croissant de difficultés selon le niveau d'habileté manuelle nécessaire à leur réussite, peut être utilisée pour identifier le pattern de progrès que les enfants devraient suivre compte tenu de leur niveau d'habileté manuelle. Ce pattern de progrès peut ensuite être utilisé par le clinicien afin de mettre en place des objectifs adaptés à l'enfant et réalisables dans le temps. Cela lui éviterait, par exemple, de demander à l'enfant de lacer ses chaussures alors que cet item requiert le niveau d'habileté manuelle le plus élevé s'il n'est pas encore capable de couper sa viande à l'aide d'un couteau. Le questionnaire peut également permettre aux professionnels de vérifier l'efficacité de leur prise en charge.

Les items cochés « difficile » ou « impossible » par les parents pourraient être discutés avec l'enfant afin de l'impliquer dans la prise en charge et de connaître ses priorités. En effet, il existe certains actes de la vie quotidienne, fréquents et répétitifs pour lesquels l'enfant ne peut être aidé par une tierce personne sans faire l'objet de moqueries. L'enfant sera par exemple gêné d'avoir besoin d'aide pour fermer son manteau lorsqu'il va en récréation, pour lacer ses chaussures après le cours de gymnastique ou encore parce qu'il ne parvient pas à manger proprement à la cantine. L'enfant ayant un TDC est souvent conscient de sa contre-performance ; il n'est pas satisfait de sa réalisation et critique sa production. Il est souvent l'objet de moqueries et de brimades de la part des autres enfants, ce qui amoindrit son estime de soi (Terrat, 2003). Des objectifs individuels pourront donc être fixés avec l'enfant et travaillés à l'aide de différentes méthodes, par exemple, la méthode *Cognitive Orientation to daily Occupational Performance* (CO-OP). Un point essentiel de cette approche est le choix par l'enfant lui-même des activités à apprendre, ce qui a pour fonction d'accroître sa motivation (Polatajko *et al.*, 2001). Il s'agit d'un apprentissage cognitif qui propose une explicitation verbale des stratégies à utiliser pour mener à bien la tâche. Pour l'enfant atteint de TDC, le recours systématique à la verbalisation permet de focaliser son attention sur son propre comportement, et ainsi de pallier certaines difficultés rencontrées lors de la réalisation d'une tâche motrice complexe (Polatajko *et al.*, 2001). Les capacités

et possibilités de l'enfant sont un réel point de référence sur lequel s'appuie la prise en charge et peuvent être également mises en évidence grâce au questionnaire ABILHAND-TDC.

Les enfants atteints de TDC font souvent l'objet d'un dépistage tardif pouvant avoir de lourdes conséquences dans les domaines émotionnel, social et scolaire pour les enfants eux-mêmes et leur famille (Mazeau, & Le Lostec, 2010). Un dépistage précoce pourrait permettre la pose d'un diagnostic dès l'entrée de l'enfant à l'école primaire afin que les prises en charge s'organisent rapidement. Outre l'échec scolaire, le manque de diagnostic et de prise en charge individualisée peut engendrer une baisse de l'estime de soi entraînant l'isolement social, et parfois même des troubles importants du comportement (Gibbs, Appleton, & Appleton, 2007). Il existe quatre temps indispensables au diagnostic d'un TDC. Tout d'abord, pour suspecter ce trouble, des plaintes dans le secteur des activités de la vie quotidienne doivent exister. L'échelle ABILHAND-TDC est un outil permettant de mettre en évidence les difficultés de l'enfant en termes d'habileté manuelle par rapport à ses pairs. Deuxièmement, l'étiologie de troubles neuromoteurs et/ou neurosensoriels doit être écartée. Troisièmement, l'échelle de Wechsler doit montrer des scores aux épreuves verbales significativement supérieurs aux scores des épreuves non-verbales sollicitant les fonctions praxiques pour constituer une hypothèse forte d'un TDC. Et quatrièmement, des bilans doivent être effectués par une équipe pluridisciplinaire (neuropsychologue, psychomotricien, ergothérapeute, logopède/orthophoniste, ...) pour affirmer le diagnostic (Mazeau, & Le Lostec, 2010).

Cette étude possède certaines limites. Des enfants atteints d'un TDC non diagnostiqués pourraient être présents dans l'échantillon d'enfants sains étant donné que le TDC toucherait environ 6% des enfants âgés entre 5 et 12 ans (Breton, & Léger, 2007 ; Missiuna *et al.*, 2006). Cela pourrait affecter quelque peu les normes. Quant à l'échantillon d'enfants atteints de TDC, il pourrait contenir des enfants diagnostiqués comme tel mais qui ne seraient pas atteints de ce trouble étant donné la fréquence des erreurs de diagnostic (Mazeau, & Le Lostec, 2010). De plus, la taille de l'échantillon est insuffisante pour le calibrage d'un instrument bien ciblé lequel nécessite 100 à 200 réponses de personnes (Linacre, 1994). Notre échantillon incluait très peu de filles (n=6) par rapport aux garçons (n=30). Cependant, ce *sex ratio* de 5/1 semble représentatif de la population d'enfants atteints de TDC qui touche de façon prédominante les garçons avec un *sex ratio* entre 4/1 à 7/1 selon les études (Kadesjö & Gillberg, 1998). Il serait intéressant de vérifier, par le modèle de Rasch, l'invariance de la difficulté des items en fonction du sexe sur un plus large échantillon afin de

confirmer la validité d'ABILHAND-TDC pour les deux sexes. Un bon nombre de parents avaient également spécifié dans le questionnaire que leur enfant souffrait d'un déficit de l'attention et/ou d'hyperactivité (TDA/H). De fait, plus de 50% des enfants atteints de TDC présentent un TDA/H selon la littérature (Jucaite *et al.*, 2003). Les TDA-H et autres troubles des apprentissages n'ont pas été exclus de notre échantillon et ont pu influencer les résultats de notre étude. De ce fait, le questionnaire ABILHAND-TDC donne une mesure d'habileté manuelle sans pouvoir distinguer l'impact du TDC lui-même sur cette mesure de l'impact d'éventuels troubles associés.

Dans cette étude, le questionnaire est complété par les parents des enfants testés. Les parents pourraient avoir tendance à sur- ou sous-estimer les capacités de leur enfant et ne possèdent pas toujours de point de comparaison pour évaluer si leur enfant réalise l'activité correctement, dans un délai de temps assez rapide. Une solution envisageable serait un entretien face à face entre le clinicien et l'enfant. Cette idée a été abandonnée car il a été prouvé que les parents ont une connaissance plus précise de l'habileté manuelle de leur enfant que l'enfant lui-même qui n'utilise que les deux catégories extrêmes de l'échelle à 3 niveaux (facile ou impossible) (Arnould *et al.*, 2004). Pour apporter un regard plus objectif, une autre solution serait de faire remplir le questionnaire par un clinicien qui évaluerait le degré de difficulté observé chez l'enfant lors de la réalisation des différents items du questionnaire. Toutefois, la performance de l'enfant peut être influencée par le stress ou au contraire par le désir de bien faire face à l'évaluateur (Verrips *et al.*, 2001). De plus, l'enfant atteint d'un TDC est caractérisé par une certaine fluctuation dans ses performances. Il peut être capable de réaliser une fois une activité sans pour autant la réussir en permanence. Cela peut dépendre de son état de fatigue, de son niveau de concentration, de l'environnement et de la présence ou non d'une double tâche (Mazeau, & Le Lostec, 2010). C'est pourquoi, les parents semblent plus à même d'évaluer l'habileté manuelle de leur enfant dans leur quotidien et par conséquent, de tenir compte d'une sorte de performance moyenne basée sur l'ensemble de leurs observations dans le temps (Arnould *et al.*, 2004) et non pas sur une observation unique et dans un environnement artificiel non contextualisé. Une partie du questionnaire concernant les activités scolaires (15 % des items du questionnaire) pourrait être remplie par les enseignants. Ils seraient peut-être également capables de remplir les activités du domaine de l'habillage (18 % des items du questionnaire) et certains items des loisirs, notamment ceux concernant les jeux de balle, les gestes des comptines ainsi que le rythme de frappe dans les mains (15 % des items du questionnaire). Près de la moitié du questionnaire pourrait alors être complétée par les enseignants qui sont peut-être

plus aptes à répondre à certains items que les parents. En effet, les enseignants sont plus neutres d'un point de vue émotionnel que les parents et ont plus de références interindividuelles pour un même groupe d'âge. De plus, l'évaluation en situation scolaire, pourtant importante, est trop souvent négligée. En effet, à l'école, l'enfant est en permanence soumis à une double contrainte qui aggrave le handicap (Barray, Gadolet, & Guillot, 1999) : faire vite et sous le regard de ses camarades. Enfin, en impliquant l'enseignant, peut-être sera-t-il ainsi plus attentif aux difficultés de l'enfant et donc plus à même de mettre en œuvre des adaptations pédagogiques.

La validation d'une échelle de mesure nécessite de nombreuses études. Il serait nécessaire de vérifier l'ensemble des résultats obtenus avec un échantillon plus grand. Il serait également précieux d'établir la sensibilité aux changements d'ABILHAND-TDC ainsi que la validité concomitante, en comparant, par exemple, les mesures obtenues par ABILHAND-TDC aux résultats obtenus avec des outils déjà validés tels que le DCDQ ou le M-ABC (Couturat, 2012). Il pourrait également être intéressant de tester la reproductibilité du questionnaire en le faisant par exemple remplir deux fois à un mois d'intervalle, délai suffisamment court pour éviter un effet de l'âge mais suffisamment long pour que les parents ne se souviennent pas des réponses données lors de la première évaluation (Delquié, 2011).

5. Conclusion

La présente étude avait deux objectifs principaux. Premièrement, créer un questionnaire unidimensionnel capable de mesurer l'habileté manuelle chez des enfants atteints d'un TDC âgés de 5 à 12 ans. Deuxièmement, établir des normes qui pourraient être utilisées par les professionnels de la santé, notamment par les ergothérapeutes, afin d'évaluer le degré d'habileté manuelle de l'enfant par rapport à des enfants sains du même âge.

L'habileté manuelle ne peut pas être mesurée directement car c'est une variable latente, cachée au sein de chaque enfant. Elle peut cependant être mesurée via la performance de l'enfant lors de la réalisation d'activités quotidiennes nécessitant l'utilisation des membres supérieurs. Différentes activités ont été sélectionnées à partir d'échelles existantes et selon l'avis de plusieurs experts afin de construire une version expérimentale du questionnaire ABILHAND-TDC. Le modèle de Rasch a ensuite été utilisé afin de développer la version finale du questionnaire. ABILHAND-TDC comprend 39 items couvrant 5 domaines de

la vie journalière de l'enfant (alimentation, soins personnels, habillage, activités scolaires et loisirs). La fiabilité du questionnaire est excellente (0,93) indiquant que l'échelle a la possibilité de mesurer précisément l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC. Sa validité discriminative a également été confirmée. Des normes ont été établies pour chaque tranche d'âge afin de permettre au clinicien d'évaluer le vrai niveau d'habileté manuelle des enfants atteints de TDC en prenant en compte l'effet des changements développementaux liés à l'âge. L'établissement des normes a en outre montré que le questionnaire était capable de discriminer 86 % des enfants atteints de TDC de l'échantillon.

À notre connaissance, c'est la première fois que le modèle de Rasch a été utilisé pour développer un outil d'évaluation pour les enfants atteints de TDC. Développer un outil de mesure avec le modèle de Rasch permet de garantir de bonnes qualités psychométriques de l'outil (Arnould, 2018). En effet, le modèle de Rasch permet de vérifier que l'outil d'évaluation satisfait aux exigences d'une mesure objective (Arnould *et al.*, 2012) tels que l'ordre des catégories de réponse, l'unidimensionnalité ou l'indépendance locale (cf. annexe 1). Les différents outils développés antérieurement pour mesurer l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC n'ont pas vérifié si ces exigences étaient satisfaites. De plus, ils génèrent des scores totaux ordinaux qui ne sont pas recommandés pour évaluer les changements au cours du temps car ils peuvent mener à des interprétations cliniques erronées (Krumlinde-Sundholm, 2012). Contrairement à ces outils, les mesures d'Abilhand-Tdc peuvent être utilisées pour suivre l'évolution de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC car les scores totaux ordinaux ont été transformés en mesures à intervalles linéaires par le modèle de Rasch (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Les qualités psychométriques actuelles du questionnaire Abilhand-Tdc indiquent que cet outil a le potentiel pour mesurer des changements cliniquement significatifs suite à une prise en charge en réadaptation. Cependant, la validité et la fiabilité doivent être confirmées sur un plus large échantillon et la sensibilité aux changements du questionnaire doit encore être investiguée.

La nature hiérarchique d'Abilhand-Tdc (cf. figure 2) obtenue par le modèle de Rasch est un avantage supplémentaire par rapport aux outils d'évaluation déjà existants. Elle fournit aux cliniciens une information quant aux tâches qui sont déjà maîtrisées, celles qui le sont presque, et celles qui sont loin de l'être. Ainsi, la hiérarchie des items (mis en parallèle avec l'habileté manuelle de l'enfant) devrait permettre de guider les cliniciens dans la planification et la mise en œuvre de la prise en charge en mettant en évidence les prochains items qu'il serait intéressant de travailler et les items pour lesquels un matériel adé-

quat, des aides techniques, ou des modifications environnementales devraient plutôt être proposés.

En mettant en évidence les difficultés éprouvées par les jeunes enfants lors de la réalisation d'activités manuelles de la vie courante, le questionnaire ABILHAND-TDC pourrait permettre de suspecter un éventuel trouble développemental de coordination. Cette suspicion de TDC devrait par la suite être confirmée par une équipe pluridisciplinaire utilisant une batterie d'autres tests valides. Enfin, le questionnaire ABILHAND-TDC permet aux cliniciens d'avoir une « photographie » des habiletés manuelles de l'enfant à un moment donné de la prise en charge afin de connaître l'impact du TDC (isolé ou accompagné de troubles associés) sur la vie quotidienne de l'enfant.

Malgré les limitations de l'étude, les propriétés métriques actuelles du questionnaire ABILHAND-TDC sont donc de bon augure pour son application en clinique afin de 1°) suspecter un éventuel trouble développemental de la coordination, 2°) obtenir une « photographie » des habiletés manuelles des enfants, 3°) planifier et mettre en place une prise en charge individualisée adéquate, et 4°) en vérifier l'efficacité à travers le transfert des habiletés dans le contexte de vie réel de l'enfant.

Remerciements

Nous remercions Madame Corinne Dumortier, ergothérapeute, pour l'aide qu'elle a apporté à ce travail. Nous remercions également les écoles, les structures, les enfants et leurs parents qui ont participé à ce projet et sans lesquels il n'aurait pu voir le jour.

Annexe 1. Détails quant aux analyses statistiques

A1.1. Modèle de Rasch

Les données ont été analysées par le modèle « *partial credit* » qui, contrairement au modèle « *rating scale* », ne force pas les items à avoir la même structure de réponse. De ce fait, la localisation relative des seuils est différente d'un item à l'autre, ce qui est plus représentatif de la réalité (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A1.2. Sélection des items pour créer le questionnaire ABILHAND-TDC

À partir des 82 items soumis aux parents, des analyses successives ont été réalisées pour supprimer les items ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective.

A1.2.1. Les items non extrêmes

Un item est considéré comme extrême lorsque tous les parents de l'échantillon répondent que l'activité est « facile » ou « impossible » pour leur enfant. Les items extrêmes ne peuvent pas être estimés précisément par le modèle de Rasch et ont donc été supprimés.

A1.2.2. La pertinence des items

Un item est pertinent lorsqu'il fait partie intégrante de la réalité quotidienne de la plupart des enfants. Les items non pertinents sont ceux pour lesquels les parents n'arrivaient pas à estimer la difficulté de l'activité car leur enfant n'avait jamais été confronté à cette dernière. Similairement à l'étude de Durez *et al.* (2007), les items ayant plus de 20 % de valeurs manquantes ont été supprimés.

A1.2.3. L'ordre des seuils des catégories de réponse

Les parents devaient estimer l'habileté manuelle de leur enfant sur une échelle à 3 catégories de réponse : impossible (0), difficile (1) ou facile (2). Il est essentiel de vérifier que l'échelle de réponse soit utilisée par les parents comme postulé à priori. Si l'ordre de catégories de réponse est vérifié, les parents d'enfants ayant une habileté manuelle plus élevée doivent toujours sélectionner une réponse plus élevée que les parents d'enfants ayant une habileté moindre, et ce, pour n'importe quel item donné (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Lorsque cela n'est pas le cas, l'ordre des seuils entre les catégories de réponse successives est inversé, ce qui signifie que l'échelle de réponse n'a pas été utilisée par les parents comme prévu par les concepteurs (Bouffioulx, Arnould, & Thonnard, 2008). Les items présentant un désordre de seuils ont été supprimés.

A1.2.4. Le bon ciblage des items par rapport aux mesures des enfants atteints de TDC

Le ciblage des items correspond à la comparaison entre la distribution de l'habileté manuelle des enfants atteints de TDC et la distribution de la localisation des seuils des items sur l'échelle de mesure représentant l'habileté manuelle. La difficulté moyenne des items est fixée par convention à 50 % de logits. Pour obtenir un ciblage correct, la distribution des seuils des items doit être centrée par rapport à la distribution des mesures d'habileté manuelle des enfants ayant un TDC. Les items considérés comme trop faciles ou trop difficiles par rapport aux enfants de l'échantillon n'apportent pas d'informations pertinentes en termes de mesures et peuvent alors être supprimés.

A1.2.5. L'indépendance locale

Il existe une dépendance locale lorsque la réponse d'une personne à un item de l'échelle dépend de sa réponse à un autre item de la même échelle (Lundgren-Nilsson

et al., 2013). Par exemple, pour une échelle mesurant l'habileté manuelle, considérons les items suivants : « construire une tour de 5 cubes » et « construire une tour de 10 cubes ». Si l'enfant est capable de construire une tour de 10 cubes, automatiquement, il arrivera à construire une tour de 5 cubes. Il existe donc une dépendance locale entre ces deux items. La dépendance locale peut être identifiée en observant la matrice des corrélations des résidus des items. Les résidus sont les différences entre les scores observés et les scores prédits par le modèle de Rasch. La dépendance locale n'est pas une menace pour les qualités psychométriques du questionnaire si la valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus est inférieure à 0,2 (Wright, 1996). Les items dont les résidus étaient hautement inter-corrélés ($R \geq 0,8$) ont été supprimés.

A1.2.6. L'unidimensionnalité

Le modèle de Rasch nécessite que la probabilité de choisir une réponse donnée à un item ne dépende que de la capacité du sujet, de la difficulté de l'item et de la localisation des seuils entre les catégories de réponse adjacentes. Ce concept correspond à l'unidimensionnalité. Dans le cas de l'habileté manuelle, aucun autre attribut des enfants ou des items que l'habileté manuelle ne doit expliquer théoriquement la probabilité de choisir une catégorie de réponse (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Des items présentant de trop grandes différences entre les scores observés et les scores prédits/attendus par le modèle ne satisfont pas au concept d'unidimensionnalité car ils sont influencés par d'autres attributs que l'habileté manuelle. La similarité entre les scores observés et attendus a été investiguée pour chaque item par l'indice d'ajustement χ^2. L'échantillon total a été divisé en trois classes d'intervalle de niveau d'habileté manuelle progressivement croissant. Les résidus ont été standardisés en les divisant par la déviation standard du score attendu pour chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). La statistique d'ajustement χ^2 a été calculée pour chaque item comme la somme des carrés des résidus standardisés de chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). Les items présentant une *p*-valeur de la statistique χ^2 inférieure à 0,05 ont été supprimés car ils étaient multidimensionnels (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A1.3. Fiabilité de l'échelle

Le coefficient de fiabilité (R) est le rapport entre la variance des scores réels et la variance des scores observés dans l'échantillon (i.e., la somme de la variance des scores réels et des erreurs) (Wright, & Masters, 1982). Cet indice est analogue au coefficient de consistance interne traditionnel, le coefficient alpha de Cronbach (1951). Un autre indice de fiabilité, l'index de séparation des personnes (G), a été développé dans le cadre du modèle de Rasch et est égal à la racine carrée du rapport entre le coefficient de fiabilité et son complément (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet ensuite de calculer le nombre de niveaux d'habileté manuelle différents qui peuvent être statistiquement distingués grâce au questionnaire à l'intérieur de l'échan-

tillon selon la formule suivante : (4G+1)/3 (Fisher, 1992 ; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A1.4. Validité de l'échelle

La validité conceptuelle d'Abilhand-Tdc a été explorée en vérifiant l'hypothèse selon laquelle l'habileté manuelle des enfants sains est supérieure à celle des enfants atteints de TDC. À cette fin, la valeur des seuils et la difficulté des items lors de l'analyse des données des enfants sains ont été fixées/ancrées sur les valeurs obtenues lors du calibrage du questionnaire chez les enfants atteints de TDC. Cette ancrage était indispensable pour comparer les mesures des enfants ayant un TDC et des enfants sains sur une même échelle étant donné que le modèle de Rasch fixe arbitrairement l'origine à la difficulté moyenne du questionnaire (i.e., 50 % de logits).

A1.5. Développement des normes

Pour obtenir les normes, il a de nouveau été nécessaire d'ancrer la valeur des seuils et la difficulté des items obtenus lors du calibrage du questionnaire chez les enfants atteints de TDC.

Annexe 2. Sélection des items d'Abilhand-Tdc

Aucun item extrême n'a été relevé lors de l'analyse des données des enfants atteints de TDC.

Douze items présentant plus de 20 % de réponses manquantes ont été supprimés du questionnaire car ils ne semblaient pas pertinents pour les enfants atteints d'un TDC. Par exemple, l'item « se démêler les cheveux » était rarement réalisé dans l'échantillon des enfants ayant un TDC car ce dernier incluait principalement des garçons. De même, l'item « essuyer ses lunettes » n'était d'application que pour les enfants possédant des lunettes.

Un seul item présentait un désordre de seuils (« enlever un DVD de sa pochette et l'insérer dans le lecteur ») et a donc été supprimé. Cela indique que l'échelle à 3 catégories de réponse était discriminée correctement par les parents qui l'utilisaient comme prévu par les concepteurs.

Les distributions des mesures des enfants ayant un TDC et des seuils des items (i.e., graduations de l'échelle) sont présentées à la figure 6. La distribution des seuils met en évidence deux groupes d'items. Vingt-sept items « faciles » avaient leur premier seuil (correspondant au niveau d'habileté manuelle pour lequel il existe une probabilité égale de répondre « difficile » plutôt qu'« impossible ») décentré par rapport à l'habileté manuelle de l'échantillon. Les 42 autres items avaient leurs deux seuils bien

ciblés par rapport à l'habileté manuelle des enfants ayant un TDC. Les 27 items « faciles » ont été supprimés après avoir vérifié que leur suppression n'affectait en rien la précision de la mesure.

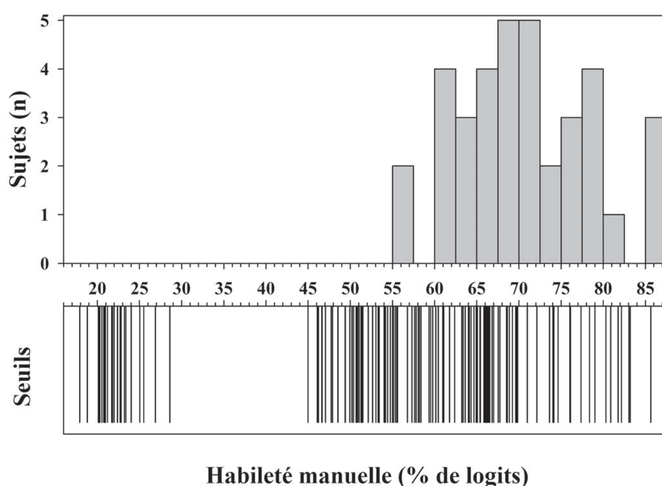


Figure n°6.
Ciblage des 69 items du questionnaire expérimental (après élimination des items non pertinents et désordonnés) par rapport aux mesures des enfants atteints de trouble développemental de la coordination (TDC).

Panneau du haut : distribution des mesures d'habileté manuelle des enfants ayant un TDC. Panneau du bas : distribution des seuils des items en fonction de l'habileté manuelle.

La valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus étant de 0,1 indique que la dépendance locale n'est pas suffisante que pour menacer les qualités psychométriques du questionnaire. Cependant, l'item « utiliser une perforatrice » était hautement corrélé avec l'item « utiliser une agrafeuse » (R=0,8). L'item « utiliser une agrafeuse » a donc été éliminé car il présentait plus de valeurs manquantes que l'item « utiliser une perforatrice » et semblait donc moins pertinent.

Deux items du questionnaire (« découper sur une ligne droite » et « insérer une clé dans une serrure ») ne satisfaisaient pas aux critères d'unidimensionnalité (p-valeur du $\chi^2 < 0,05$) et ont donc été supprimés. Les 39 items restants définissaient globalement une variable unique, à savoir l'habileté manuelle (p-valeur du χ^2 global de 0,8).

Annexe 3. Nombres d'items retenus dans chaque domaine de la vie journalière en fonction de la phase de développement d'Abilhand-Tdc

Le tableau 4 indique le nombre d'items dans chaque domaine de la vie journalière selon la phase de développement du questionnaire, à savoir, le questionnaire préliminaire (avant l'avis des experts), le questionnaire expérimental (après l'avis des experts) et le questionnaire final (après l'analyse avec le modèle de Rasch).

Domaines de la vie journalière	Questionnaire préliminaire (114 items)	Questionnaire expérimental (82 items)	Questionnaire final (39 items)
Alimentation	22 (19%)	13 (16%)	09 (23%)
Soins corporels	14 (12%)	12 (15%)	06 (15%)
Habillage	24 (21%)	13 (16%)	07 (18%)
Activités scolaires	18 (16%)	18 (22%)	06 (15%)
Loisirs	20 (18%)	19 (23%)	11 (29%)
Divers	16 (14%)	07 (08%)	00 (00%)

Tableau n°4.
Nombre d'items par domaine de la vie journalière selon la phase de développement du questionnaire Abilhand-Tdc.

Les domaines de l'alimentation et des loisirs sont plus représentés dans le questionnaire final que dans les questionnaire préliminaire et expérimental. Les items relatifs à ces deux domaines constituent la moitié des items du questionnaire final. La proportion d'items finaux dans les domaines des soins personnels, de l'habillage et des activités scolaires est restée similaire à celle du questionnaire préliminaire. Notons cependant que la proportion d'items relatifs aux activités scolaires a diminué suite à l'analyse par le modèle de Rasch par rapport au questionnaire expérimental considéré comme pertinent par les huit experts. Les items relatifs au domaine « divers » ont complètement disparu dans la version finale du questionnaire. Leur proportion avait déjà diminué de moitié après l'avis des experts car ils étaient considérés comme non pertinents. Les items « divers » restants ont ensuite été supprimés après l'analyse par le modèle de Rasch principalement parce qu'ils étaient mal ciblés (i.e., trop faciles) par rapport aux mesures des enfants atteints de TDC.

Bibliographie

Albaret, J.-M. (2005). Trouble de l'acquisition de la coordination et dyspraxie de développement : Évolution des terminologies et de la démarche diagnostique. *Évolutions Psychomotrices*, 17(70), 193-200.

Amato, P. R., & Ochiltree, G. (1986). Children becoming independent : an investigation of children's performance of practical life-skills. *Australian Journal of psychology*, 38(1), 59-68.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-V* (5e édit.). Washington, D.C. : American Psychiatric Association.

Andrich, D., Sheridan, B., & Luo, G. (2004). *RUMM2020: Rasch unidimensional models for measurement.* Perth : RUMM Laboratory. http://www.rummlab.com.au

Andrich D., & Sheridan, B. (2005). *Interpreting RUMM2020: part II, polytomous data.* Perth : RUMM Laboratory Pty Ltd.

Arnould, C., Penta, M., Renders, A., & Thonnard, J.-L. (2004). ABILHAND-Kids: a measure of manual ability in children with cerebral palsy. *Neurology*, 63(6), 1045-1052.

Arnould, C., Vandervelde, L., Batcho, C. S., Penta, M., & Thonnard, J.-L. (2012). Can manual ability be measured with a generic ABILHAND scale ? A cross-sectional study conducted on six diagnostic groups. *BMJ Open*, 2(6). https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001807

Arnould, C. (2006). *Hand functioning in children with cerebral palsy* (thèse de doctorat). Université Catholique de Louvain (UCL) : Louvain-la-Neuve.

Arnould, C. (2018). Practical Considerations of the Both Hands Assessment (BoHA) : A commentary on « Development and Validation of the Both Hands Assessment for Children with Bilateral Cerebral Palsy ». *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 38(2), 127129. https://doi.org/10.1080/01942638.2018.1433428

Barray, V., Gadolet, D., & Guillot, C. (1999). Bilan d'autonomie scolaire en maternelle. In M-H. Izard, M. Moulin & R. Nespoulous (Eds.), *Expériences en ergothérapie* (12e série) (pp. 52-57). Montpellier : Sauramps médical.

Bouffioulx, E., Arnould, C., & Thonnard, J.-L. (2008). SATIS-Stroke : A satisfaction measure of activities and participation in the actual environment experienced by patients with chronic stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(10), 836-843. https://doi.org/10.2340/16501977-0272

Breton, S., & Léger, F. (2007). *Mon cerveau ne m'écoute pas. Comprendre et aider l'enfant dyspraxique*. Montréal : Éditions du CHU Sainte-Justine.

Couturat, P.-L. (2012). *Troubles de l'acquisition des coordinations à l'école maternelle : validation d'une échelle d'hétéroévaluation* (thèse de doctorat). Université Paul Valéry, Montpellier.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.

Delquié, A. (2011). *Evolution of manual ability in healthy children from 1 to 7 years* (mémoire de master). Haute école Louvain-en-Hainaut, Montignies-sur-Sambre.

Durez, P., Fraselle, V., Houssiau, F., Thonnard, J.-L., Nielens, H., & Penta, M. (2007). Validation of the ABILHAND questionnaire as a measure of manual ability

in patients with rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 66(8), 1098-1105. https://doi.org/10.1136/ard.2006.056150

Fisher, W. P. (1992). Reliability, Separation, Strata Statistics. *Rasch Measurement Transactions*, 6(3), 238.

Gérard, C.-L. (2011). *Clinique des troubles d'apprentissage : De l'évaluation neuropsychologique à la programmation éducative.* Bruxelles : Éditions De Boeck.

Geuze, R. H. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination. Évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant.* Marseille : Solal.

Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder ? Unravelling the enigma. *Archives of Disease in Childhood*, 92(6), 534-539. https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054

Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992). *Movement Assessment Battery for Children*. Londres : The Psychological Corporation.

Jucaite, A., Fernell, E., Forssberg, H., & Hadders-Algra, M. (2003). Deficient coordination of associated postural adjustments during a lifting task in children with neurodevelopmental disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45(11), 731-742.

Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40(12), 796-804.

Kaplan, B. J., Wilson, B. N., Dewey, D., & Crawford, S. G. (1998). DCD may not be a discrete disorder. *Human movement science*, 17(4-5), 471-490.

Krumlinde-Sundholm, L. (2012). Reporting outcomes of the Assisting Hand Assessment: what scale should be used ? *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54(9), 807808. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04361.x

Linacre, J. M. (1994). Sample size and item calibration stability. *Rasch Measurement Transactions*, 7(4), 328.

Lundgren-Nilsson, Å., Jonsdottir, I. H., Ahlborg, G., & Tennant, A. (2013). Construct validity of the Psychological General Well Being Index (PGWBI) in a sample of patients undergoing treatment for stress-related exhaustion : a Rasch analysis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 11, 2. https://doi.org/10.1186/1477-7525-11-2

Mazeau, M., & Le Lostec, C. (2010). *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*. Issy-Les-Moulineaux : Masson.

Merbitz, C., Morris, J., & Grip, J. C. (1989). Ordinal scales and foundations of misinference. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(4), 308-312.

Missiuna, C., Moll, S., Law, M., King, S., & King, G. (2006). Mysteries and mazes: parents' experiences of children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy. Revue Canadienne d'Ergothérapie*, 73(1), 7-17. https://doi.org/10.2182/cjot.05.0010

Penta, M., Tesio, L., Arnould, C., Zancan, A., & Thonnard, J. L. (2001). The ABILHAND questionnaire as a measure of manual ability in chronic stroke patients :

Rasch-based validation and relationship to upper limb impairment. *Stroke*, 32(7), 1627-1634.

Penta, M., Arnould, C., & Decruynaere, C. (2005). *Développer et interpréter une échelle de mesure. Applications du modèle de Rasch*. Sprimont : Mardaga.

Polatajko, H. J., Mandich, A. D., Missiuna, C., Miller, L. T., Macnab, J. J., Malloy-Miller, T., & Kinsella, E. A. (2001). Cognitive orientation to daily occupational performance (CO-OP) : part III - the protocol in brief. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 20(2-3), 107-123.

Rasch, G. (1980). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago : Mesa Press.

Quintana, C. (2009). *L'habileté manuelle chez les enfants sains âges de 3 à 6 ans* (mémoire de mater). Haute école Louvain-en-Hainaut, Montignies-sur-Sambre.

Rosenblum, S. (2006). The development and standardization of the Children Activity Scales (ChAS-P/T) for the early identification of children with Developmental Coordination Disorders. *Child : Care, Health and Development*, 32(6), 619-632. https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00687.x

Smyth, M. M., & Anderson, H. I. (2000). Coping with clumsiness in the school playground : Social and physical play in children with coordination impairments. *British Journal of Developmental Psychology*, 18(3), 389-413.

Terrat, H. (2003). L'entrée dans l'écrit pour des enfants à besoins particuliers : les enfants atteints de dyspraxie visuospatiale. *Nouvelle revue de l'AIS (Adaptation et Intégration Scolaires)*, 22, 109-118.

Vaivre-Douret, L. (2008). Le point sur la dyspraxie développementale : symptomatologie et prise en charge. *Contraste,* 28-29, 321-341.

Van Dellen, T., Vaessen, W., & Schoemaker, M. M. (1990). Clumsiness definition and selection of subjects. In A. F. Kalverboer (Ed.), *Developmental biopsychology: experimental and observational studies in children at risk* (pp. 223-240). Ann Arbor : University of Michigan Press.

Verrips, G. H., Stuifbergen, M. C., den Ouden, A. L., Bonsel, G. J., Gemke, R. J., Paneth, N., & Verloove-Vanhorick, S. P. (2001). Measuring health status using the Health Utilities Index: agreement between raters and between modalities of administration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(5), 475-481.

Wilson, B. N., Kaplan, B. J., Crawford, S. G., Campbell, A., & Dewey, D. (2000). Reliability and validity of a parent questionnaire on childhood motor skills. *The American Journal of Occupational Therapy : Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 54(5), 484-493.

Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1989). Observations are always ordinal : measurements, however, must be interval. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(12), 857-860.

Wright, B. D., & Masters, G. N. (1982). *Rating scale analysis.* Chicago : Mesa Press.

Wright, B. (1996). Local dependency, correlations and principal components. *Rasch Measurement Transactions*, 10: 509-511.

Revue des Questions Scientifiques, 2018, 189 (3) : 277-323

Comment évaluer les enfants ayant un trouble développemental de la coordination ?

Développement d'un outil d'évaluation ludique mesurant la coordination des enfants atteints du trouble développemental de la coordination âgés de 5 à 12 ans

Romane Louette Carlyne Arnould

Laboratoire forme et fonctionnement humain (FFH), Pôle de recherche en sciences de la motricité, CERISIC, Départements de kinésithérapie et d'ergothérapie, Catégorie paramédicale, Haute école Louvain-en-Hainaut

romane.louette@gmail.com arnouldc@helha.be

Résumé. – Cette étude vise le développement d'un outil d'évaluation ludique, valide et fiable (le Ludo-Tdc) capable d'investiguer de manière quantitative et qualitative la coordination des enfants atteints du trouble développemental de la coordination (TDC) âgés de 5 à 12 ans. La version expérimentale du questionnaire était composée de 49 tâches, nommées items, sélectionnées à partir d'échelles de mesure existantes et de la littérature. L'outil, présenté sous la forme d'un plateau de jeu, a été soumis à 20 enfants atteints de TDC (moyenne d'âge : 9 ± 2 ans ; sex ratio : 3 garçons/2 filles). Chaque session de jeu était filmée, puis analysée par l'expérimentateur qui attribuait, sur une échelle à 4 catégories de réponse, des scores à chaque tâche réalisée par les enfants pour évaluer quantitativement leur niveau de coordination et des scores à 10 critères qualitatifs utilisés pour évaluer les qualités avec lesquelles les enfants réalisaient l'ensemble des tâches du jeu. Les réponses ont été analysées avec le logiciel RUMM2020 qui utilise le modèle de Rasch, un modèle statistique permettant de vérifier que l'outil satisfait aux conditions d'une mesure objective. La capacité du Ludo-Tdc à discriminer les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge et du même sexe a également été investiguée. L'analyse a montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû être regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse. La version finale du Ludo-Tdc, constituée de 32 items et de 8 critères qualitatifs, possède une très bonne précision de mesure (coefficient de fiabilité de 0,94

pour l'échelle quantitative et de 0,90 pour l'échelle qualitative). Le Ludo-Tdc est également capable de discriminer de manière significative les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge (p<0,001). Cette étude a donc permis de développer un outil d'évaluation unidimensionnel et fiable, le Ludo-Tdc, capable d'évaluer la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. Les propriétés métriques de l'outil devraient permettre aux cliniciens travaillant avec des enfants atteints de TDC de faire un état des lieux du niveau de coordination de ces enfants, ainsi que de personnaliser le plan de rééducation et d'en vérifier son efficacité.

Abstract. – This study aims to develop an enjoyable, valid and reliable assessment tool (the Fun-Dcd) capable of quantitatively and qualitatively assessing the coordination of children between the ages of 5 and 12 with Developmental Coordination Disorder (DCD). The experimental version of the questionnaire was composed of 49 tasks, called items, selected from existing measurement scales and from the relevant literature. This tool, presented in the form of a board game, was submitted to 20 children with DCD (mean age of 9 ± 2 years; sex ratio of 3 boys to 2 girls). Each game session was video-taped and then analysed by the examiner. Scores were then attributed, on a scale with 4 response categories, for each task performed by the children in order to quantitatively evaluate their level of coordination. Additionally, scores were also attributed on a scale with 4 response categories, for 10 qualitative criteria used to assess the qualities with which the children completed the entire set of game tasks. The responses were analysed with Rumm2020 software which uses the Rasch model, a statistical model able to verify that the tool satisfies the criteria of an objective measurement. The capacity of the Fun-Dcd to discriminate between children with DCD and healthy children of the same age and sex was also investigated. Analysis showed that the first two response categories were not well discriminated and should have been grouped together, thus resulting in a scale with 3 response categories. The final version of the Fun-Dcd, consisting of 32 items and 8 qualitative criteria, displays a very high level of measurement precision (reliability coefficient of 0.94 for the quantitative scale, and 0.90 for the qualitative scale). The Fun-Dcd was also able to discriminate children with DCD from healthy children of the same age (p<0.001). This study has therefore enabled the elaboration of a reliable, unidimensional assessment tool, the Fun-Dcd, capable of assessing the coordination level of children between the ages of 5 and 12 with DCD. The metric properties of the tool should allow clinicians working with children suffering from DCD to obtain an overview of the level of coordination of these children, as well as to customize their rehabilitation program and verify its efficiency.

Mots-clés. – Trouble développemental de la coordination — Dyspraxie — Coordination —Évaluation ludique — Modèle de Rasch

Plan de l'article

1. Introduction

Durant l'enfance, l'homme acquiert en très peu de temps un nombre incalculable d'habiletés motrices (i.e., capacités, se développant suite à un apprentissage, à réaliser des tâches à un niveau élevé d'efficacité) indispensables à sa survie et à son intégration dans la société (Geuze, 2005 ; Leplat, 2001). Ce rapide développement moteur résulte de l'interaction de l'homme avec son environnement (Geuze, 2005). En effet, soumis à des contraintes, mais aussi à des modèles, il apprend par imitation, essais-erreurs, répétition et entraînement (Gérard, & Brun, 2005 ; Pannetier, 2007). Ces apprentissages permettent d'établir des répertoires de gestes dirigés vers un but observable (Gérard, & Brun, 2005 ; Mazeau, & Le Lostec, 2010) ou des praxies. Les praxies sont des « séquences de mouvements aboutissant à la réalisation d'un geste volontaire, intentionnel, qui permet d'interagir avec le monde extérieur » (Pannetier, 2007). Ces praxies sont de véritables fichiers contenant la programmation cérébrale nécessaire pour réaliser des séquences de mouvements complexes (Broca, 2009 ; Pannetier, 2007). Il suffit ensuite à l'enfant d'ouvrir le programme moteur

correspondant à l'action qu'il veut réaliser pour que s'exécutent les séquences motrices, spatiales et temporelles qui permettront aux gestes d'être fluides, harmonieux et surtout automatisés (Pannetier, 2007). Ce dernier point signifie que l'enfant ne doit plus réfléchir à la tâche (e.g., écrire) qu'il est en train de faire et que des espaces cognitifs sont libérés pour servir à la réalisation d'une seconde tâche (e.g., écouter l'institutrice) (Pannetier, 2007).

Néanmoins, il arrive que le développement moteur de l'enfant ne se fasse pas toujours de manière appropriée. L'enfant peut ressentir des difficultés dans l'apprentissage des habiletés motrices et peiner à appliquer les principes de coordination censés lui permettre d'interagir facilement et de maintes façons avec son environnement (Geuze, 2005). Les coordinations sont en effet essentielles aux mouvements et aux déplacements quotidiens de l'homme. Elles permettent de réaliser des gestes bien définis et précis grâce à l'action conjuguée du système nerveux central et de la musculature squelettique (Leplat, 2001). Lorsque les praxies et les coordinations se mettent difficilement en place alors que l'enfant a été soumis à un apprentissage habituel et qu'il ne semble pas y avoir d'étiologie à ces troubles, le diagnostic d'un trouble développemental de la coordination (TDC) est posé (Mazeau & Le Lostec, 2010).

Bien que plusieurs terminologies soient utilisées pour décrire les enfants présentant des troubles praxiques et de coordination d'origine développementale, c'est le terme TDC utilisé dans le *Manuel diagnostic et statistique des troubles mentaux* (DSM-IV et DSM-V) de l'*American Psychiatric Association* (1994 ; 2013) qui a été choisi internationalement (Vaivre-Douret *et al*., 2011) et est recommandé par l'*European Academy for Childhood Disability* (EACD) (Blank *et al*., 2012). Le DSM-V (2013) définit le TDC au travers de quatre critères. Premièrement, l'acquisition ou l'exécution de la coordination motrice est nettement en-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique et des opportunités pour l'apprentissage et la mise en pratique de nouvelles habiletés. Les difficultés se manifestent par de la maladresse (e.g., des objets qui s'échappent des mains), une vitesse d'exécution lente ou de mauvaises performances dans les habiletés motrices (e.g., utiliser des ciseaux, écrire, faire des activités sportives). Deuxièmement, la perturbation décrite dans le premier critère interfère de manière significative et persistante avec la performance dans les activités de la vie courante (appropriées pour l'âge chronologique) et a un impact sur la réussite scolaire/académique, les activités préprofessionnelles et professionnelles, les loisirs et les jeux. Troisièmement, les premiers symptômes apparaissent tôt dans le développement de l'enfant. Quatrièmement, les difficultés motrices ne sont pas consécutives à une déficience intellectuelle ou à un

problème visuel et ne sont pas attribuables à une condition neurologique. Bien que le terme de « dyspraxie développementale » reste largement utilisé dans les pays francophones, nous avons préféré employer l'appellation TDC, plus utilisée au niveau international, et la définition donnée par le DSM-V. En effet, cette définition exprime bien les difficultés éprouvées par les enfants atteints de TDC : ils sont maladroits et lents et leur TDC perturbe la réalisation de leurs activités de la vie journalière et leur scolarité.

Environ 6% des enfants âgés de 5 à 11 ans sont atteints de TDC (Breton, & Léger, 2007; Missiuna *et al.*, 2006), avec un « sex ratio » estimé à 3-4 garçons pour 1 fille (Kadesjö, & Gillberg, 1998; Kirby, Sugden, & Purcell, 2014). Les enfants sont souvent considérés à tort comme immatures, maladroits et paresseux. En réalité, il s'agit d'enfants qui souffrent de se retrouver dans une perpétuelle situation d'échec et qui dépensent, en vain, beaucoup d'énergie sur le plan cognitif afin de tenter d'aboutir aux objectifs demandés. Ils perdent alors confiance en eux et sont en proie à l'anxiété et à la tristesse qui peut même évoluer vers un état dépressif (Breton, & Léger, 2007; Gibbs, Appleton, & Appleton, 2007). Ils finissent par s'isoler des autres enfants car ils sont conscients qu'ils sont différents. Ils remarquent qu'ils sont beaucoup plus lents que leurs camarades, beaucoup plus maladroits et beaucoup plus vite fatigués aussi. Pour toutes ces raisons, ils sont souvent mis de côté lors des jeux de groupes et préféreront la compagnie des adultes. Ce sont des enfants qui sont souvent bavards car leur quotient intellectuel (QI) verbal élevé, nettement supérieur à leur QI performance, leur permet de compenser oralement les difficultés qu'ils rencontrent lors de l'expression écrite (Albaret, 1999).

La prise en charge conseillée face à un diagnostic de TDC est pluridisciplinaire et s'organise au cas par cas. Lors de celle-ci, il est important que les professionnels évaluent de manière spécifique les domaines déficitaires afin de pouvoir cibler au mieux la rééducation. À l'heure actuelle, il existe un certain nombre d'outils de mesure pour évaluer ces domaines (Breton, & Léger, 2007). L'outil le plus fréquemment utilisé et mentionné dans la littérature française et anglo-saxonne pour évaluer la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 4 à 12 ans est la Batterie d'Évaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC) (Henderson, & Sugden, 1992). Cependant, il ne s'agit pas pour autant d'un « gold standard » (Venetsanou *et al.*, 2011). En effet, cet outil ne contient que huit items classés en trois sections distinctes (dextérité manuelle, maîtrise de balle et équilibre) (Geuze, 2005). Les tâches sont réalisées les unes après les autres et sont évaluées par un système de cotation principalement basé sur la réussite ou l'échec. Un deuxième système de cotation qualitatif complète

le premier mais il ne s'intéresse qu'au contrôle du corps, de la posture et à l'adaptation de l'enfant aux exigences des tâches (Gérard, & Brun, 2005). Le thérapeute ne dispose donc que de peu d'informations précises et qualitatives sur la réalisation de chaque tâche et ne recherche pas l'amusement de l'enfant lors de la passation du test. Il serait donc intéressant de développer un outil ludique capable de donner des informations pertinentes et précises aux thérapeutes tant par rapport à la capacité des enfants atteints de TDC à réaliser des tâches nécessitant de la coordination (évaluation quantitative) que par rapport aux qualités (e.g., vitesse et précision d'exécution des mouvements) avec lesquelles les enfants réalisent l'ensemble de ces tâches (évaluation qualitative). Rajouter un aspect ludique lors de l'évaluation paraît essentiel afin que l'évaluation se transforme en un moment de récréation sans générer de situations stressantes et de frustrations supplémentaires si l'enfant échoue à certaines tâches. L'utilisation d'un système de cotation qualitatif et l'idée de présenter le test sous la forme d'un jeu sont inspirées du *Assisting Hand Assessment* (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003) qui évalue qualitativement les performances de la main assistante chez les enfants atteints de paralysie cérébrale unilatérale au travers d'une succession de missions à réaliser pour secourir un ami prisonnier d'un sorcier (jeu de la forteresse) ou pour pouvoir quitter une planète avec sa navette endommagée (jeu de l'extraterrestre) (Romein, & Bard, 2011).

Cependant, la coordination appartient au domaine des variables latentes, cachée au sein de l'individu comme l'intelligence, la douleur ou l'altruisme (Penta *et al.*, 2001). Il est donc impossible de la mesurer directement comme on mesurerait la longueur d'un objet à l'aide d'un mètre. C'est au travers des comportements, des performances observables que l'on peut donner une valeur à cette variable. Classiquement, un score est attribué à la performance observée dans chacune des tâches/épreuves, aussi appelées items, de l'outil d'évaluation que la personne doit réaliser. Des scores totaux bruts sont ainsi obtenus en sommant les scores d'une personne aux différents items de l'outil de mesure (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Ces scores totaux sont observés sur une échelle ordinale : plus le niveau de coordination de l'enfant est important et plus le score total est élevé. Ils ont une validité limitée, surtout lorsque des comparaisons quantitatives doivent être faites entre les personnes ou au cours du temps (Merbitz, Morris, & Grip, 1989 ; Wright & Linacre, 1989). En effet, les scores totaux ordinaux permettent de comparer le niveau de coordination des enfants en termes de « plus grand que », « plus petit que » ou « égal à », mais ne permettent pas de quantifier la quantité de progrès ou de détérioration effectué(e) (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). L'utilisation inadéquate de ces scores peut mener à des interprétations cliniques erronées. Les décisions

et actions thérapeutiques peuvent alors être inadéquates et avoir un impact néfaste sur la vie de l'enfant.

Suite aux limitations des scores totaux ordinaux, le modèle probabiliste de Rasch a été développé (Rasch, 1980) par le mathématicien du même nom. Ce modèle est de plus en plus utilisé dans le développement des outils de mesures de santé (Couturat, 2012). Il permet de convertir les scores totaux ordinaux en mesures à intervalles localisées sur une échelle linéaire dont l'unité de mesure est constante (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). En outre, ce modèle statistique permet de vérifier si les qualités psychométriques nécessaires à une mesure objective sont rencontrées dans l'outil de mesure (Arnould *et al.*, 2012).

L'objectif de cette étude est le développement d'un outil d'évaluation ludique et fiable, le Ludo-Tdc, mesurant quantitativement et qualitativement la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. La validité du Ludo-Tdc sera également investiguée en vérifiant si l'outil est capable de discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe.

2. Méthodes

2.1. Participants

Pour faire partie de l'échantillon d'enfants atteints de TDC, les participants devaient être diagnostiqués d'un trouble développemental de la coordination ou d'une dyspraxie développementale, ainsi qu'être âgés de 5 à 12 ans. Cette limite d'âge inférieure a été définie d'après l'étude longitudinale de Silva & Ross qui montre qu'avant l'âge de 5 ans, le développement moteur de l'enfant n'est pas stable et que le système perceptivo-moteur n'est pas suffisamment établi pour permettre un diagnostic fiable (d'après Geuze, 2005). En effet, les enfants doivent avoir été exposés « aux apprentissages préscolaires et structurés de la part de l'adulte, ainsi qu'avoir construit les repères topologiques (au-dessus, en-dessous, ...) et corporels qui sont des bases indispensables à l'élaboration des praxies » (Gérard, & Brun, 2005). Ils doivent autrement dit avoir déjà acquis certaines praxies et ne plus être dans une phase de découvertes et d'apprentissages purs. Concernant la limite d'âge supérieure, elle correspond, en Belgique, à la fin des études primaires et au début des études secondaires. Il semblait, en effet, difficile d'élaborer un jeu qui soit attractif à la fois pour les enfants d'âge primaire et les adolescents. Les enfants atteints de TDC ne devaient présenter

aucune déficience mentale. Leur quotient intellectuel devait donc être supérieur à 70 (valeur indiquant une déficience mentale légère). Enfin, les enfants présentant des antécédents neurologiques connus, des troubles neuromoteurs ou neurosensoriels n'étaient pas inclus dans l'étude car il aurait été impossible de définir la part de responsabilité du TDC par rapport aux autres troubles. Le recrutement des enfants atteints de TDC s'est déroulé entre juin 2014 et février 2015. Des demandes de participation à l'étude ont été introduites auprès de 2 hôpitaux, de 2 cliniques, de 7 centres de rééducation et de 3 professionnels indépendants. Seule une neuropsychogue indépendante a désiré s'impliquer dans le projet et a permis le recrutement de 8 enfants. Les autres enfants ($n = 12$) ont été recrutés par le biais de forums internet de parents ayant un enfant atteint de TDC. Seize parents, contactés sur deux forums différents, se sont montrés intéressés et 12 d'entre eux ont accepté que leurs enfants participent à l'étude. L'échantillon d'enfants atteints de TDC incluait donc 20 enfants.

Un échantillon contrôle d'enfants sains, âgés de 5 à 12 ans, a également été recruté en février 2015 dans un établissement scolaire d'enseignement primaire ordinaire et lors d'un stage d'animation de vacances afin d'investiguer la capacité du Ludo-Tdc à discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe. À cette fin, chaque enfant sain a été apparié en âge et en sexe avec un pair atteint de TDC. Les enfants sains ne devaient pas présenter de pathologie qui puisse avoir un impact sur leur coordination.

L'étude a reçu l'autorisation d'être menée par le comité d'éthique belge *Academic Ethical Committee Brussels Alliance for Research and Higher Education*. Les enfants atteints de TDC ainsi que les enfants sains et leurs parents ont été informés du but de l'étude et du déroulement de celle-ci. Tous les parents des participants de l'étude ont donné leur consentement éclairé par écrit.

2.2. Développement de l'outil d'évaluation Ludo-Tdc

L'outil d'évaluation a été conçu de manière à couvrir le plus largement possible les différents domaines de coordination. La version préliminaire de l'outil comportait 155 items qui ont été repris ou inspirés d'échelles et outils d'évaluation existants tels que la Batterie d'Évaluation du Mouvement chez l'Enfant (M-ABC) (Henderson & Sugden, 1992, Venetsanou *et al*., 2011), le *Assisting Hand Assessment* (AHA) (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003), le questionnaire d'Activités de la Vie Quotidienne (AVQ) (Geuze, 2005), le questionnaire des Habiletés Motrices Précoces (*Early Years Movement Skills Checklist*,

EYMSC) (Chambers & Sugden, 2002), le questionnaire ABILHAND-Kids (Arnould *et al.*, 2004), le Questionnaire d'Observation Motrice pour les Enseignants (*Motor Observation Questionnaire for Teachers*, MOQ-T) (Van Dellen, Vaessen, & Schoemaker, 1990), le *Developmental Coordination Disorder Questionnaire* (DCDQ, version 2007) (Wilson *et al.*, 2000), les *Children Activity Scales* (ChAS-P/T) (Rosenblum, 2006), les *McCarthy Scales of Children's Abilities* (MSCA) (Goldstein & Naglieri, 2011), le bilan neuropsychologique de l'enfant (NEPSY-II) (Volkmar, 2013), le *Test of Gross Motor Development 2* (TGMD-2) (Kim, Park, & Kang, 2012), le test de développement moteur de Bruininks-Ozeretsky (BOT-2, version 2005) (Goldstein & Naglieri, 2011), le test de Lincoln-Ozeretsky (Albaret & Castelnau, 2004) et l'échelle des coordinations motrices de Charlop-Atwell (Albaret & Noack, 1993). La version préliminaire de l'outil incluait 61 items de coordination motrice globale (i.e., activités nécessitant des mouvements coordonnés globaux du tronc et des membres) et 94 items de coordination motrice fine (i.e., activités nécessitant des mouvements de préhension et de manipulation d'objets avec les mains et les doigts).

Ces 155 items ont été soumis à trois experts travaillant avec des enfants atteints de TDC (un neuropsychologue, un ergothérapeute et un kinésithérapeute). Ils devaient estimer la pertinence des items et proposer d'éventuelles adaptations. Cent-vingt-et-un items ont été supprimés car ils étaient jugés trop faciles pour la population visée (33 items ; e.g., « manger avec une cuillère »), redondants (25 items ; e.g., « faire rebondir une balle sur le sol et la rattraper » et « faire rebondir une balle contre un mur et l'attraper » ; un seul des deux items redondants était alors conservé) ou étaient difficiles à intégrer dans un jeu de plateau (63 items ; e.g., « équilibre sur une jambe sur une poutre »). Vingt-huit items ont quant à eux été modifiés au niveau de leur contenu et/ou de leur formulation afin, soit d'en améliorer la compréhension, soit de les rendre plus ludiques (e.g., « reproduire des mouvements de doigts montrés » modifié en « faire pierre, papier, ciseaux des deux mains simultanément »). Neuf items ont enfin été ajoutés sur avis des 3 experts qui les jugeaient pertinents (e.g., « ouvrir/fermer un bocal avec un double système de fermeture »). L'opinion de deux parents a également été sollicitée afin d'avoir un autre point de vue, tout aussi pertinent puisqu'ils observent quotidiennement les répercussions du TDC sur la vie de leur enfant. Cependant, aucune modification n'a dû être opérée à ce stade de la sélection des items.

Une histoire (i.e., l'enfant doit faire un long voyage et relever des défis pour délivrer un apprenti magicien emprisonné par un sorcier) a été inventée autour

des 43 items afin de rendre l'évaluation de la coordination des enfants atteints de TDC ludique. À chaque étape du jeu correspondait une carte qui expliquait les défis à relever pour sauver l'apprenti magicien. L'évaluation devait avant tout être un moment de jeu et d'amusement pour les enfants et non une session de mesure analytique stressante. Ce principe a été repris du *Assisting Hand Assessment* (AHA), un outil d'évaluation mesurant l'efficacité avec laquelle la main assistante d'enfants souffrant d'une atteinte unilatérale aide la main saine dans la réalisation de tâches bimanuelles (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003). La fabrication de l'outil sous la forme d'un plateau de jeu a ensuite été réalisée. Le jeu était composé d'un grand plateau de jeu illustré, de 10 cartes à jouer (défis à relever regroupant plusieurs tâches), et d'une boîte remplie de jouets et d'accessoires nécessaires à la réalisation du jeu.

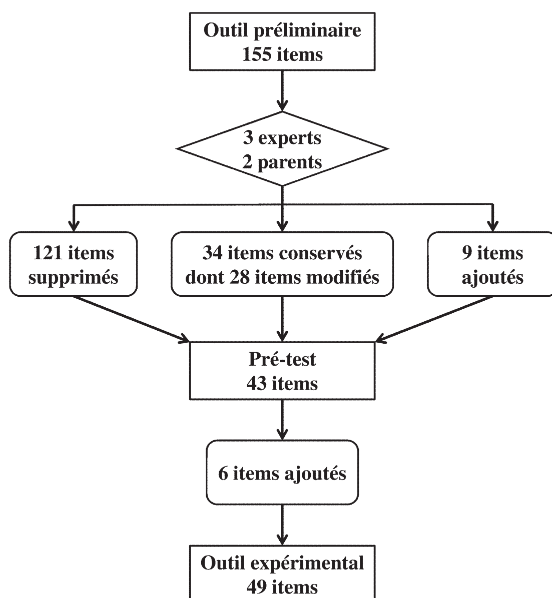


Figure n°1.
Processus du développement du Ludo-Tdc : de la version préliminaire à la version expérimentale.

Un pré-test du jeu a ensuite été réalisé sur deux enfants sains (une fille de 6 ans et un garçon de 8 ans) afin que l'expérimentateur se familiarise avec l'outil, afin d'estimer le temps de passation du test, de vérifier le caractère ludique du jeu, et de voir si la formulation des items était parfaitement compréhensible pour les enfants. Suite à ce pré-test, 6 items naturellement présents dans le déroulement du jeu (e.g., « resserrer la taille d'un pantalon en faisant un nœud

simple ») ont été intégrés aux 43 items sélectionnés par les experts. Des fiches avec la représentation dessinée de certaines activités (e.g., « faire pierre, papier, ciseaux des deux mains simultanément ») ont également été créées afin d'illustrer les tâches à effectuer par l'enfant dans le cas où ce dernier ne comprendrait pas l'explication verbale. La version expérimentale du LUDO-TDC se composait donc de 49 items. La figure 1 présente le processus de développement de l'outil, de sa version préliminaire à sa version expérimentale.

2.3. Procédure d'utilisation de l'outil d'évaluation LUDO-TDC

L'examinateur disposait d'instructions claires consignées dans un petit livret afin de pouvoir standardiser chaque session de jeu. La passation du jeu devait avoir lieu dans un endroit calme aménagé d'une table et de deux chaises. L'enfant devait être assis sur une chaise dont la hauteur, adaptée à sa taille, lui permettait d'avoir la surface de la table juste en-dessous de ses coudes (lorsque les coudes étaient fléchis à 90°). Cette position lui permettait de jouer sans faire de compensations. L'enfant devait retrousser ses manches s'il portait des manches longues afin de faciliter l'observation des mouvements des bras et avant-bras. Il devait également ôter ses chaussures et ses chaussettes en prévision de certaines épreuves du jeu. L'examinateur devait être assis en face de l'enfant afin de pouvoir lui tendre les jouets et les accessoires nécessaires au jeu. La session de jeu était filmée afin que l'examinateur puisse interagir avec l'enfant pour la rendre ludique et afin de faciliter le travail ultérieur de cotation (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003 ; Romein & Bard, 2011).

La durée d'une session de jeu était variable d'un enfant à l'autre. Elle durait entre 20 et 60 minutes (moyenne = 48 ± 12 minutes). L'enfant ne devait à aucun moment s'imaginer que c'était un test. L'examinateur devait par conséquent rendre le moment amusant et ne jamais laisser l'enfant en situation d'échec et de frustration. C'est pourquoi une aide (verbale ou physique) était autorisée.

Un double système de cotation polytomique (composé de plus de 2 catégories de réponse ordonnées) a été mis en place afin d'évaluer quantitativement et qualitativement le niveau de coordinations des enfants atteints de TDC. Le premier système de cotation quantitatif évaluait la capacité de l'enfant à réaliser chaque item du jeu sur une échelle à 4 catégories de réponse : 0 = réalisation impossible de la tâche, 1 = beaucoup de difficultés qui affectent la réalisation de la tâche, 2 = légères difficultés qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche, et 3 = aucune difficulté à réaliser la tâche. Le second système de cotation

qualitatif a été inspiré du système de cotation du AHA (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003) et consistait à évaluer 10 qualités (aussi appelés critères qualitatifs) avec lesquelles les enfants réalisaient l'ensemble des tâches. Les critères qualitatifs évalués étaient les suivants : la vitesse, l'harmonie des mouvements, la coordination, l'organisation séquentielle des gestes, la précision, l'adresse, le calibrage de la force, l'utilisation correcte des objets/outils, la capacité d'effectuer des doubles tâches, et la persévérance dans les erreurs. L'évaluation qualitative était transversale à toutes les tâches du jeu et se basait sur la performance la plus souvent observée lors de la session de jeu. La cotation qualitative se faisait également sur une échelle à 4 niveaux de réponse (de 0 à 3) dont la signification globale était similaire au système de cotation quantitatif tout en étant adapté à chacun des 10 critères qualitatifs. L'annexe 1 explique en détails les deux systèmes de cotation avant et après l'analyse par le modèle de Rasch.

2.4. Analyses statistiques

2.4.1. Modèle de Rasch

Les scores quantitatifs et qualitatifs obtenus suite à la vision des vidéos des sessions de jeu des enfants atteints de TDC ont été analysés à l'aide du logiciel RUMM2020® (Laboratoire RUMM Pty Ltd, Perth, Western Australia) (Andrich, Sheridan, & Luo, 2004 ; Andrich & Sheridan, 2005) qui utilise le modèle de Rasch (1980). Ce dernier prescrit que la probabilité que l'examinateur attribue un certain score à l'enfant dépend uniquement de son niveau de coordination, de la difficulté de l'item (échelle de cotation quantitative) ou du critère qualitatif (échelle de cotation qualitative) et de la difficulté des seuils. Les seuils des items/critères correspondent au niveau de coordination pour lequel deux catégories de réponse adjacentes ont la même probabilité d'apparition. Autrement dit, c'est le niveau de coordination nécessaire pour obtenir une probabilité identique que l'examinateur choisisse « beaucoup de difficultés » plutôt qu'« impossible », ou « légères difficultés » plutôt que « beaucoup de difficultés », ou encore « aucune difficulté » plutôt que « légères difficultés ». Les seuils constituent les graduations de l'échelle de mesure.

Le modèle de Rasch transforme de manière logarithmique les scores totaux bruts (i.e., la somme des scores à chacun des items/critères), qui sont des données ordinales, en mesures à intervalles exprimées en logits. Le logit est une unité de mesure, constante à travers toute l'échelle de mesure, qui exprime le niveau de coordination d'un enfant nécessaire pour réaliser un item ou le niveau de sa performance en terme de qualité à travers l'ensemble des tâches du

jeu. Pour une interprétation plus aisée de l'échelle de mesure, le logit a ensuite été converti sur une échelle en centiles (en pour cent).

L'analyse des scores du système de cotation quantitatif s'est faite séparément de celle du système de cotation qualitatif. Il s'agit de deux échelles de mesure distinctes que le clinicien pourra choisir en fonction de ses besoins.

2.4.2. Sélection des items et des critères pour créer le Ludo-Tdc

À partir de l'analyse vidéo des 49 items et des 10 critères qualitatifs, des analyses successives ont été effectuées afin de supprimer les items et critères qualitatifs ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective (i.e., items/critères non extrêmes, dont les catégories de réponse sont ordonnées, bien ciblés par rapport à l'échantillon, unidimensionnels, présentant une indépendance locale). Le lecteur intéressé trouvera plus de détails quant au modèle de Rasch et quant à la sélection des items/critères dans l'annexe 2.

2.4.3. Fiabilité des échelles de mesure du Ludo-Tdc

La fiabilité est un concept théorique qui indique la quantité d'erreurs de mesure associée aux scores. Idéalement, les mesures observées ne devraient refléter que la quantité de la variable mesurée, à savoir la coordination et la performance qualitative avec laquelle les tâches nécessitant une coordination sont réalisées. Cependant, en pratique, ces mesures sont toujours entachées d'un certain degré d'erreurs. Un coefficient de fiabilité (R) proche de 1 signifie que l'outil est fiable car les mesures observées représentent essentiellement les capacités réelles des enfants.

Un autre indice de fiabilité, l'index de séparation des personnes (G), a été développé dans le cadre du modèle de Rasch (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet de calculer le nombre de niveaux de coordination/performance qualitative différents qui peuvent être statistiquement distingués, grâce au Ludo-Tdc, à l'intérieur de l'échantillon (Fisher, 1992 ; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Les formules du coefficient de fiabilité, de l'index de séparation des personnes, et du nombre de niveaux de coordination/performance qualitative statistiquement distingués sont indiquées dans l'annexe 2.

2.4.4. Validité des échelles de mesure du Ludo-Tdc

La validité conceptuelle ou théorique consiste à vérifier que les mesures de l'outil supportent les concepts théoriques qu'elles sont censées refléter (Penta,

Arnould, & Decruynaere, 2005). Une des hypothèses théoriques facilement vérifiable est que les niveaux de coordination et les performances qualitatives réalisées lors de tâches nécessitant une coordination des enfants atteints de TDC devraient être inférieurs à ceux des enfants sains du même âge. Afin de vérifier cette hypothèse, des enfants sains ont été évalués au LUDO-TDC et ont été appariés en âge et en sexe aux enfants atteints de TDC (cf. annexe 2). La comparaison des mesures de coordination et des performances qualitatives des enfants ayant un TDC avec celles des enfants sains a été effectuée à l'aide d'un test *t*-pairé car les données satisfaisaient les critères de normalité et d'homoscédasticité. Une *p*-valeur inférieure à 0,05 indique une différence statistiquement significative entre les deux groupes d'enfants.

3. Résultats

3.1. Participants

Le tableau 1 présente la description de l'échantillon des enfants atteints d'un TDC (n=20). L'âge moyen des enfants était de 9 ans (± 2 ans). Aucun enfant de 5 ans n'a été évalué bien que l'outil d'évaluation ait été conçu pour évaluer des enfants dès cet âge. Les garçons étaient plus représentés dans l'échantillon que les filles avec un ratio de 3:2. Les enfants de l'échantillon étaient majoritairement droitiers (75 %). Dix-huit enfants suivaient un enseignement ordinaire dont 4 bénéficiaient d'une aide du service d'aide à l'intégration et 2 enfants étaient inscrits dans un enseignement spécialisé de type 8 (troubles des apprentissages ici liés à de troubles de langage de type dysphasie). Dans notre échantillon, seul 5 % des enfants avaient reçu le diagnostic de TDC. Quatre-vingt-cinq pour cent des enfants avaient reçu le diagnostic d'une dyspraxie développementale (DD) visuo-spatiale, 30 % celui d'une DD de l'habillage, 10 % celui d'une DD constructive, 10 % celui d'une DD sans type spécifié, et 5 % celui d'une DD idéatoire. Tous les enfants, excepté deux, étaient pris en charge par des professionnels de la santé, principalement des logopèdes (80 %) et des neuropsychologues (45 %).

L'échantillon des enfants sains (n=20) présentait les mêmes caractéristiques en terme d'âge et de sexe que l'échantillon d'enfants atteints de TDC puisque les enfants étaient appariés sur base de ces critères. Nonante-cinq pour cent de l'échantillon d'enfants sains étaient droitiers et tous les enfants étaient dans l'enseignement ordinaire.

Age (en années), moyenne ± SD [min-max]	9 ± 2 [6 - 12]
Sexe	
Garçons	12
Filles	8
Latéralité	
Droitier	15
Gaucher	4
Ambidextre	1
Type d'enseignement	
Ordinaire	14
Ordinaire avec service d'aide à l'intégration (SAI)	4
Spécialisé (type 8)	2
Diagnostic	
TDC	1
Dyspraxie développementale visuo-spatiale	17
Dyspraxie développementale de l'habillage	6
Dyspraxie développementale constructive	2
Dyspraxie développementale sans type spécifié	2
Dyspraxie développementale idéatoire	1
Rééducation	
Logopédie	16
Neuropsychologie	9
Autres (pédopsychiatrie, graphothérapie, orthoptie, …)	7
Psychomotricité	5
Kinésithérapie	3
Ergothérapie	2
Aucune	2

Tableau n°1.
Description de l'échantillon d'enfants atteints de TDC (n=20)

TDC = trouble développemental de la coordination ; SD = écart-type ; min = minimum ; max = maximum.

3.2. Sélection des items et des critères du Ludo-Tdc

3.2.1. Sélection des items du Ludo-Tdc quantitatif

Une analyse préalable a mis en évidence que les 4 catégories de réponse de la majorité des items n'étaient pas utilisées comme postulé à priori. En effet, les deux premières catégories de réponse (« réalisation impossible de la tâche » (0) et « beaucoup de difficultés qui affectent la réalisation de la tâche » (1))

n'étaient pas bien discriminées à cause du faible taux de réponses qui y était observé. Les deux premières catégories de réponse ont donc été regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse : 0 = « grandes difficultés » (qui affectent la réalisation de la tâche ou qui la rendent impossible à réaliser), 1 = « légères difficultés » (qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche), et 2 = « aucune difficulté » (à réaliser la tâche) (cf. annexe 1).

Dix-sept items ne satisfaisaient pas aux critères d'une mesure objective et ont donc été supprimés. Trente-deux items unidimensionnels non extrêmes, bien ciblés par rapport à l'échantillon, ayant les 3 catégories de réponse ordonnées et présentant une indépendance locale constituent donc la version finale du LUDO-TDC quantitatif. Le lecteur intéressé trouvera le détail de la sélection des items du LUDO-TDC quantitatif dans l'annexe 3.

3.2.2. Sélection des items du LUDO-TDC qualitatif

Une analyse préalable a également mis en évidence que les 4 catégories de réponse de la majorité des critères qualitatifs n'étaient pas utilisées comme postulé à priori. À nouveau, les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées à cause du faible taux de réponses qui y était observé. Elles ont donc été regroupées ensemble, résultant ainsi en une échelle à 3 catégories de réponse dont la signification globale était similaire au LUDO-TDC quantitatif tout en étant adapté à chacun des 10 critères qualitatifs (cf. annexe 1). Une échelle dichotomique (0 = « difficultés » et 1 = « aucune difficulté » ; regroupement des deux premières catégories de l'échelle de réponse à 3 catégories) a dû être mise en place pour deux critères qualitatifs « faciles » (i.e., « calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets ») (cf. annexe 1). En effet, la catégorie de réponse « grandes difficultés » (0) n'était jamais observée dans l'échantillon pour ces deux critères qualitatifs (cf. annexe 3).

Deux critères qualitatifs ne satisfaisaient pas aux critères d'une mesure objective et ont donc été supprimés. Huit critères qualitatifs unidimensionnels non extrêmes, bien ciblés par rapport à l'échantillon, ayant des catégories de réponse ordonnées (3 catégories pour 6 critères, 2 catégories pour 2 critères) et présentant une indépendance locale constituent donc la version finale du LUDO-TDC qualitatif. Le lecteur intéressé trouvera le détail de la sélection des items du LUDO-TDC qualitatif dans l'annexe 3.

3.3. Contenu du LUDO-TDC

La version finale du LUDO-TDC est tout d'abord composée d'une échelle de mesure quantitative constituée de 32 items investiguant 7 domaines de

coordination. Le LUDO-TDC quantitatif inclut 8 items de coordination motrice globale et 24 items de coordination motrice fine. Les 8 items de coordination globale couvrent les domaines de coordinations locomotrices (3 items mettant en action tout le corps qui se déplace [e.g., « faire un demi-tour sur soi-même en sautant »]), de coordinations manipulatoires (2 items bilatéraux mettant en action les membres pour contrôler/bouger les objets [e.g., « dribbler sur place en alternant les mains »]), et de coordinations non-locomotrices (3 items mettant en action le corps sans déplacement [e.g., « frapper du pied droit et de la main controlatérale »]). Les 24 items de motricité fine couvrent les domaines des praxies idéatoires (18 items nécessitant une organisation séquentielle de gestes à effectuer pour manipuler un objet [e.g., « découper la forme dessinée », « ouvrir le cadenas avec la clé », « fermer le petit bouton de la chemise »] ; 15 activités de la vie journalière dont 3 spécifiques à l'habillage), des praxies idéo-motrices (3 items nécessitant une organisation du geste moteur en l'absence de manipulation réelle de l'objet [e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément »]), des praxies visuo-spatiales (2 items nécessitant le maniement des relations spatiales [e.g., « relier les points avec une latte »]), et des dissociations main interne - main externe (1 item nécessitant une manipulation à l'intérieur de la main [e.g., « faire une boulette de papier avec une main »]). Les nombres d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du LUDO-TDC quantitatif sont présentés dans l'annexe 4.

Le LUDO-TDC inclut également une échelle de mesure qualitative constituée de 8 critères qualitatifs (vitesse, harmonie des mouvements, coordination, précision, adresse, calibrage de la force, utilisation correcte des objets/outils, et capacité d'effectuer des doubles tâches) permettant d'évaluer la performance qualitative avec laquelle les enfants effectuent les tâches de coordination.

3.4. Propriétés métriques du LUDO-TDC

Le calibrage du LUDO-TDC quantitatif et qualitatif sont présentés respectivement dans les tableaux 2 et 3. Les items et les critères qualitatifs ont été classés, de haut en bas, par ordre de difficulté croissante. Des valeurs en pourcentage de logits plus élevées indiquent des activités/critères qualitatifs plus difficiles. Par exemple, l'item « frapper du pied et de la main controlatérale » requiert le plus bas niveau de coordination alors que l'item « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément » requiert le plus haut niveau de coordination (tableau 2). La distribution des items du LUDO-TDC quantitatif s'étend sur un peu plus de 30 % de logits tandis que celle des critères du LUDO-TDC qualitatif

s'étend sur environ 40 % de logits. L'erreur standard (SE), associée à la difficulté des items/critères, indique la précision de l'estimation. La valeur moyenne de la SE est de 4,03 % pour le Ludo-Tdc quantitatif et de 4,95 % pour le Ludo-Tdc qualitatif. L'indice d'ajustement χ^2 et ses probabilités indiquent que les 32 items du Ludo-Tdc quantitatif et les 8 critères du Ludo-Tdc qualitatif contribuent à la définition d'une mesure unidimensionnelle de la coordination et de la performance qualitative dans des tâches de coordination (probabilités du χ^2> 0,05).

Items	Difficulté (% de logits)	SE (% de logits)	Chi-carré (χ^2)	Probabilité du χ^2
01. Frapper du pied droit et de la main controlatérale	31,13	6,02	0,80	0,67
02. Manipuler les cartes du jeu à 2 mains	31,60	5,92	0,75	0,69
03. Suspendre des cartes sur un fil avec des pinces	31,81	5,23	2,91	0,23
04. Attraper un ballon avec les deux mains	34,65	4,87	2,17	0,34
05. Rouler un boudin de plasticine avec les 2 mains sur une table	40,23	4,48	0,47	0,79
06. Frapper du pied droit et de la main homolatérale	41,30	4,43	0,21	0,90
07. Rouler un boudin de plasticine entre ses mains	45,66	4,07	1,56	0,46
08. Ouvrir/fermer ses mains en alternance	45,67	4,16	0,28	0,87
09. Tailler un crayon	46,70	3,89	1,00	0,61
10. Fermer les pressions de la chemise	47,55	3,99	2,52	0,28
11. Défaire des nœuds simples	47,87	4,09	2,30	0,30
12. Mettre une chemise à courtes manches	48,45	3,78	1,13	0,57
13. Mettre la feuille pliée dans une enveloppe	49,16	3,72	0,74	0,69
14. Ouvrir le cadenas avec la clé	49,57	3,85	4,49	0,11
15. Toucher la pulpe de ses doigts avec le pouce simultanément des deux mains	49,85	3,82	1,87	0,39
16. Transporter des billes avec une cuillère	49,96	3,74	2,25	0,32
17. Relier des points avec une latte	50,64	3,84	0,07	0,97
18. Jouer de la boite à musique	53,12	3,86	2,30	0,32
19. Faire une boulette de papier à une main	53,84	4,01	0,84	0,66
20. Attacher le collier par un nœud simple	55,74	3,36	2,81	0,24
21. Découper la forme dessinée	56,00	4,25	1,20	0,55
22. Enfiler des perles selon un ordre de couleurs	56,08	3,51	0,30	0,86
23. Fermer le petit bouton de la chemise	56,15	3,49	0,46	0,79
24. Jouer du xylophone selon un modèle	56,31	3,72	4,40	0,11
25. Lancer le ballon sur une cible	56,37	3,74	2,74	0,25
26. Sauter sur place en frappant dans ses mains	56,98	3,49	2,02	0,36
27. Frapper du pied droit et des mains en alternance	58,56	3,61	1,27	0,53
28. Faire un demi-tour sur soi-même en sautant	58,88	3,37	2,41	0,30
29. Dribbler sur place en alternant les mains	60,89	3,24	2,17	0,34
30. Tracer le chemin dans un modèle	61,13	3,88	0,17	0,92
31. "Pantin" en criant le mot choisi	64,20	3,60	0,85	0,65
32. "Pierre, papier, ciseaux" des 2 mains simultanément	64,23	3,85	1,12	0,57

Tableau n°2.
Calibration du Ludo-Tdc quantitatif chez les enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans.

TDC = trouble développemental de la coordination ; SE = Erreur standard.

Les tableaux 2 et 3 révèlent la hiérarchie des items/critères en terme de difficulté ou de niveau de coordination/performance qu'ils nécessitent pour réussir la/les tâche(s). Au niveau du LUDO-TDC quantitatif, les activités mettant en jeu la coordination motrice globale (e.g., « pantin en criant le mot choisi », « dribbler sur place en alternant les mains », « faire un demi-tour sur soi-même en tournant ») et les activités de coordination motrice fine nécessitant une bonne organisation spatio-temporelle (e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément », « tracer le chemin dans un modèle », « jouer du xylophone selon un modèle », « enfiler des perles selon un ordre de couleurs ») semblent être les plus difficiles à exécuter. Au niveau du LUDO-TDC qualitatif, la coordination, la précision, la capacité d'effectuer des doubles tâches, le calibrage de la force, et la vitesse sont les qualités qui sont les plus difficiles à réaliser dans des tâches de coordination.

Critères qualitatifs	Difficulté (% de logits)	SE (% de logits)	Chi-carré (χ^2)	Probabilité du χ^2
1. Utilisation correcte des objets	23,08	8,35	1,33	0,51
2. Harmonie des mouvements	36,82	4,07	0,21	0,90
3. Adresse	39,33	4,20	1,54	0,46
4. Vitesse	52,47	5,26	1,37	0,50
5. Calibrage de la force	57,12	5,11	2,49	0,29
6. Capacité d'effectuer des doubles tâches	59,68	3,47	0,13	0,94
7. Précision	66,41	4,22	1,87	0,39
8. Coordination	66,56	4,89	0,74	0,69

Tableau n°3.
Calibration du LUDO-TDC qualitatif chez les enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans.

TDC = Trouble développemental de la coordination ; SE = Erreur standard.

3.5. Description du LUDO-TDC quantitatif

La figure 2 illustre le fonctionnement de l'échelle de mesure du LUDO-TDC quantitatif. Le panneau du haut représente la distribution des mesures de la coordination des enfants atteints de TDC (en gris foncé) et des enfants sains (en gris clair) qui leur sont appariés en âge et en sexe. Les niveaux de coordination des enfants atteints de TDC s'étendent de 18 % à 74 % de logits tandis que les niveaux des enfants sains sont compris entre 44 % et 98 % de logits. Globalement, le groupe des enfants sains a donc un meilleur niveau de coordination que le groupe pathologique. Le panneau du bas met en évidence la relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de coordination (en

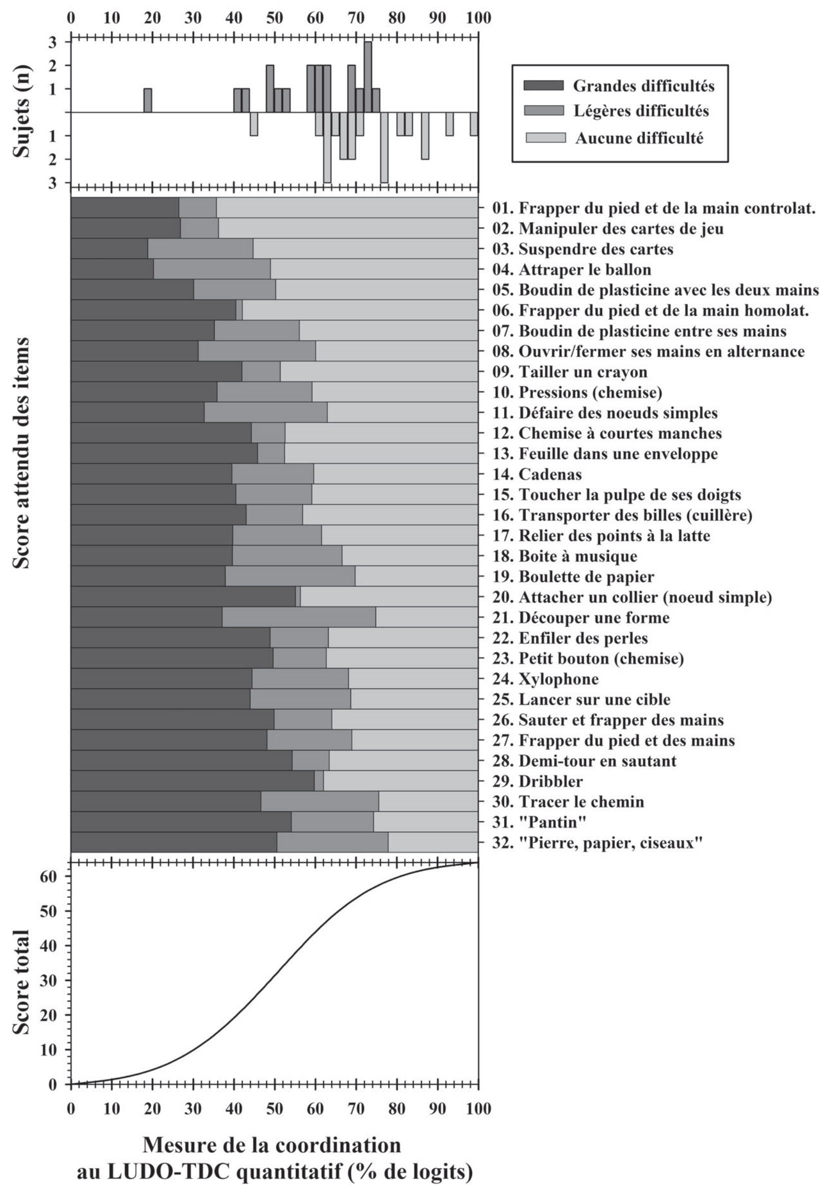


Figure n°2.
Description du Ludo-Tdc quantitatif.

Panneau du haut : distribution des mesures de coordination des 20 enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC), en gris foncé, et des enfants sains appariés en âge et en sexe, en gris clair. Panneau du milieu : score attendu pour chaque item en fonction du niveau de coordination. Panneau du bas : relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de coordination mesurées par le Ludo-Tdc quantitatif.

% de logits). Le score total maximal est de 64 points (32 items * score maximal de 2). Cette relation est relativement linéaire entre les scores totaux de 10 à 55 points. Dans cette étendue, une augmentation d'un point sur le score total brut représente une progression de ± 1 % de logits dans le niveau de coordination de l'enfant. En dehors de cette plage centrale, la même progression d'un point sur le score total brut (e.g., de 59 à 60 points) traduit une plus grande progression dans le niveau de coordination (e.g., 2,3 % de logits). Cette différence représente la non-linéarité des scores totaux bruts. Le panneau du milieu montre le score attendu (parmi les 3 catégories de réponse) qui devrait être obtenu pour chaque activité du LUDO-TDC, compte tenu du score total brut et du niveau de coordination. Les items sont classés de haut en bas par ordre croissant de difficulté. Par exemple, un enfant ayant obtenu un score total brut de 32 points, équivalant à 50% de logits, a une grande probabilité de présenter de grandes difficultés (score de 0) aux activités 20, 26, 28, 29, 31, et 32 alors qu'il ne devrait avoir aucune difficulté (score de 2) à réaliser les 4 items les plus faciles ainsi que le 6e item « frapper du pied droit et de la main homolatérale ». Toutes les autres tâches du LUDO-TDC devraient être réalisées par cet enfant avec de légères difficultés (score de 1).

3.6. Description du LUDO-TDC qualitatif

La figure 3 illustre le fonctionnement de l'échelle de mesure du LUDO-TDC qualitatif. Le panneau du haut représente la distribution des performances qualitatives des enfants atteints de TDC (en gris foncé) et des enfants sains (en gris clair) qui leur sont appariés en âge et en sexe. Les niveaux de performance des enfants atteints de TDC s'étendent de 8 % à 86 % de logits tandis que les niveaux des enfants sains sont compris entre 32 % et 100 % de logits. Globalement, les enfants sains ont de meilleures performances qualitatives avec lesquelles ils effectuent les tâches de coordination que les enfants atteints de TDC. Le panneau du bas met en évidence la relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de performance qualitative (en % de logits). Le score total maximal est de 14 points ([6 critères polytomiques * score maximal de 2] + [2 critères dichotomiques * score maximal de 1]). Le panneau du milieu montre le score attendu qui devrait être obtenu pour chaque critère qualitatif du LUDO-TDC, compte tenu du score total brut et du niveau de performance. Les items sont classés de haut en bas par ordre croissant de difficulté. Par exemple, un enfant ayant obtenu un score total brut de 7 points, équivalant à 50 % de logits, a une grande probabilité de présenter de grandes difficultés pour effectuer des doubles tâches ; de la difficulté pour calibrer sa force ; de lé-

gères difficultés pour harmoniser ses mouvements, être adroit/rapide/précis, et pour coordonner ses mouvements ; mais il ne devrait avoir aucune difficulté à utiliser correctement les objets/outils.

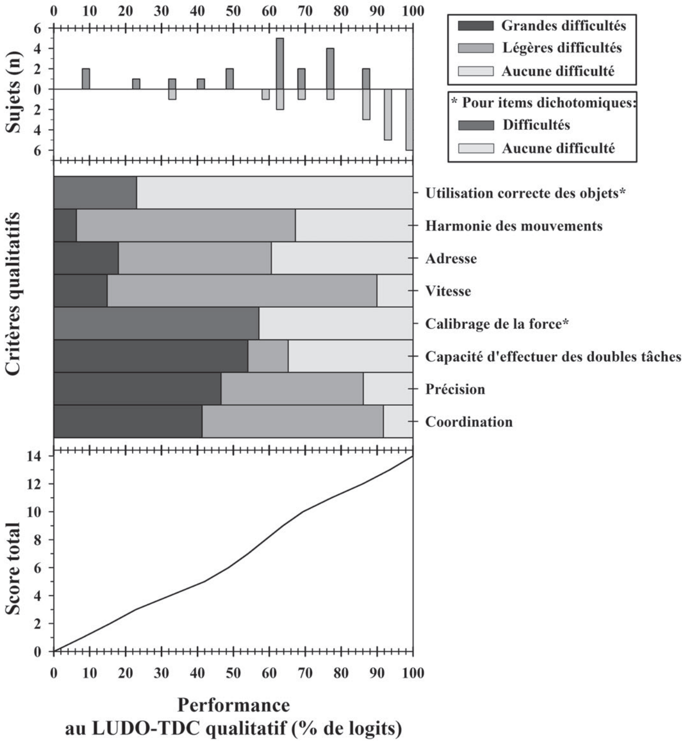


Figure n°3.
Description du Ludo-Tdc qualitatif.

Panneau du haut : distribution des performances qualitatives des 20 enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC), en gris foncé, et des enfants sains appariés en âge et en sexe, en gris clair. Panneau du milieu : score attendu pour chaque critère qualitatif en fonction du niveau de performance. Panneau du bas : relation ogivale entre les scores totaux bruts et les mesures linéaires de performance mesurées par le Ludo-Tdc qualitatif.

3.7. Fiabilité du Ludo-Tdc

La distribution des mesures de coordination des enfants atteints de TDC au Ludo-Tdc quantitatif et de leurs performances au Ludo-Tdc qualitatif ainsi que la distribution des seuils des items/critères sont présentés à la figure 4. La moyenne des seuils des items/critères est fixée par convention à 50 % de logits. La mesure de coordination moyenne au Ludo-Tdc quantitatif (panneau de gauche de la figure 4) de notre échantillon d'enfants atteints de TDC est

de 50 % de logits indiquant que le LUDO-TDC quantitatif propose des tâches adaptées/ciblées par rapport à l'échantillon. Autrement dit, les tâches ne sont ni trop faciles, ni trop difficiles pour les enfants ayant un TDC. La performance moyenne au LUDO-TDC qualitatif (panneau de droite de la figure 4) de notre échantillon d'enfants atteints de TDC est de 57 % de logits indiquant que le LUDO-TDC qualitatif propose également des critères qualitatifs relativement bien ciblés par rapport à l'échantillon.

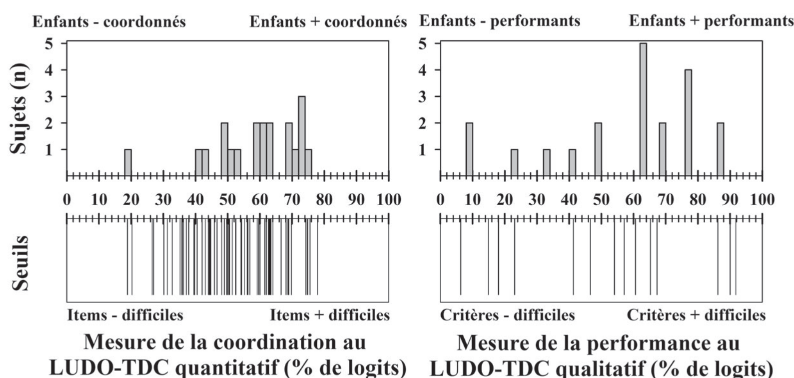


Figure n°4.
Ciblage des mesures des enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC) au LUDO-TDC par rapport aux seuils des items.

Panneau de gauche : Distribution des mesures de coordination des enfants atteints de TDC (panneau du haut) et celle des seuils des items du LUDO-TDC quantitatif (panneau du bas). Panneau de droite : Distribution des mesures de performance qualitative des enfants atteints de TDC (panneau du haut) et celle des seuils des critères du LUDO-TDC qualitatif (panneau du bas).

Les seuils (représentant les graduations de l'échelle) des items du LUDO-TDC quantitatif couvrent uniformément un large éventail de niveaux de coordination allant de 18 à 78 % de logits (panneau de gauche de la figure 4). Parmi cette étendue de mesures, il n'existe pas de zones majeures de coordination non couvertes par les seuils de l'échelle de mesure, ce qui empêcherait de quantifier précisément les sujets. De ce fait, la fiabilité du LUDO-TDC quantitatif est excellente (R=0,94) dans notre échantillon. La précision de cette échelle de mesure est suffisamment élevée pour distinguer 6 niveaux de coordination statistiquement différents au sein de l'échantillon.

Les seuils des critères du LUDO-TDC qualitatif couvrent non uniformément une étendue de performances allant de 6 à 92 % de logits (panneau de droite de la figure 4). Parmi cette étendue de mesures, il existe des zones majeures de mesures (e.g., entre 23 et 41 % de logits et entre 67 et 86 % de logits) non cou-

vertes par les seuils du LUDO-TDC qualitatif, ce qui empêche de distinguer des sujets localisés dans ces zones. De ce fait, la fiabilité du LUDO-TDC qualitatif est un peu moins bonne (R=0,90) dans notre échantillon mais reste largement acceptable d'un point de vue clinique. La précision de cette échelle de mesure est suffisamment élevée pour distinguer 4 niveaux de performance qualitative statistiquement différents au sein de l'échantillon.

3.8. Validité du LUDO-TDC

La figure 5 (panneau de gauche) illustre que les enfants sains présentent des mesures de coordination au LUDO-TDC quantitatif (moyenne ± SD = 73 ± 13 % de logits) significativement plus élevées que les enfants atteints de TDC auxquels ils ont été appariés (moyenne ± SD = 59 ± 14 % de logits) (p<0,001). La figure 5 (panneau de droite) montre également que les enfants sains réalisent les tâches au LUDO-TDC qualitatif avec un degré de qualité significativement supérieur (moyenne ± SD = 84 ± 18 % de logits) à celui des enfants atteints de TDC auxquels ils ont été appariés (moyenne ± SD = 57 ± 24 % de logits) (p<0,001). L'hypothèse selon laquelle le LUDO-TDC est capable de discriminer la coordination des enfants ayant un TDC et la performance qualitative avec laquelle ils réalisent les tâches de coordination par rapport à celles des enfants sains est ainsi confirmée.

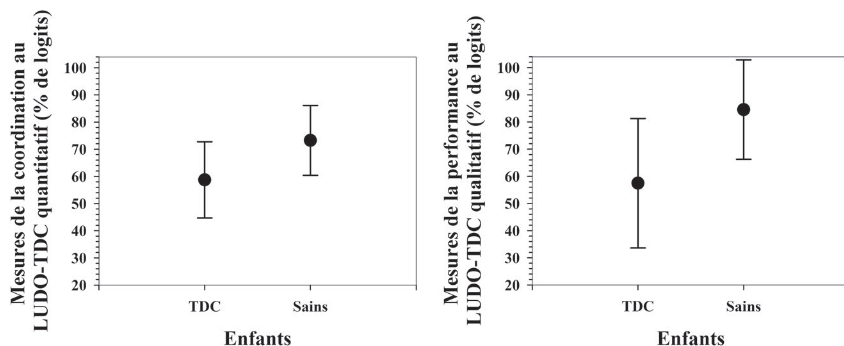


Figure n°5.
Comparaison des mesures au LUDO-TDC entre les enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination (TDC) et les enfants sains.

Panneau de gauche : Comparaison des mesures de coordination au LUDO-TDC quantitatif entre les sujets atteints de TDC et les enfants sains appariés en âge et en sexe. Panneau de droite : Comparaison des performances qualitatives avec lesquelles les enfants réalisent les tâches de coordination au LUDO-TDC qualitatif entre les sujets atteints de TDC et les enfants sains appariés en âge et en sexe. Les moyennes (points) et les écarts-types (barres verticales) sont indiqués.

4. Discussion

Le but de cette étude était de développer un outil d'évaluation ludique, le Ludo-Tdc, capable de mesurer, tant quantitativement que qualitativement la coordination des enfants atteints de TDC âgés de 5 à 12 ans. La capacité du Ludo-Tdc à discriminer les enfants ayant un TDC des enfants sains du même âge et du même sexe a également été investiguée. Développé à partir d'échelles existantes, l'outil préliminaire composé de 155 items et de 10 critères qualitatifs a été soumis à l'avis de 3 experts. Seuls les items (*n*=49) et critères qualitatifs (*n*=10) que les experts jugeaient pertinents ont été conservés. L'analyse par le modèle de Rasch des données de 20 enfants atteints de TDC a mis en évidence que les deux premières catégories de réponse des échelles initiales à 4 niveaux n'étaient pas bien discriminées. Ces deux catégories de réponse ont, dès lors, dû être regroupées ensemble, résultant ainsi en des échelles à 3 niveaux. Lors de la création d'un autre outil d'évaluation, Abilhand, mesurant l'habileté manuelle des adultes hémiplégiques chroniques, il a également été constaté que les patients n'arrivaient pas à discriminer les deux catégories intermédiaires de l'échelle initiale à 4 niveaux (Penta *et al*., 2001). Par conséquent, ces deux catégories ont dû être regroupées ensemble pour former une échelle finale à 3 niveaux. Une autre étude (Arnould *et al*., 2004) a montré que les parents d'enfants atteints de paralysie cérébrale discriminaient bien l'échelle à 3 catégories de réponse d'un questionnaire mesurant l'habileté manuelle, Abilhand-Kids, alors que les enfants ne discriminaient que deux catégories de réponse. Ces résultats semblent donc confirmer le bien-fondé d'utiliser une échelle à 3 catégories de réponse. Le modèle de Rasch a également permis de sélectionner les items et critères qualitatifs satisfaisant aux critères d'une mesure objective. Suite à cette analyse, la version finale du Ludo-Tdc, incluait 32 items permettant de mesurer le niveau de coordination des enfants atteints de TDC et 8 critères qualitatifs permettant d'évaluer la performance qualitative avec laquelle les enfants réalisent les tâches de coordination.

Septante-cinq pour cent des items de la version finale du Ludo-Tdc quantitatif concernent la coordination motrice fine avec le domaine des praxies idéatoires (56 % des items dont 9 % concernent spécifiquement les praxies de l'habillage) qui est le plus représenté.

Le domaine des praxies idéatoires est en effet considéré dans la littérature comme étant un des domaines posant le plus de difficultés aux enfants atteints de TDC (Breton & Léger, 2007). Une revue de 31 études décrivant les caractéristiques des enfants atteints de TDC (Geuze, 2005) a répertorié les

activités les plus fréquemment rapportées comme déficitaires : l'écriture et le dessin (6 % des items du LUDO-TDC quantitatif), l'habillage (9 % des items), la manipulation d'outils (47 % d'items non spécifiques à l'habillage), les jeux de construction (non représenté dans le LUDO-TDC quantitatif), et les jeux de plein air ainsi que les sports (± 15 % des items de coordinations locomotrices et manipulatoires). Les critères qualitatifs retenus dans la version finale du LUDO-TDC qualitatif concernaient la coordination, la précision, la capacité d'effectuer des doubles tâches, la vitesse, l'adresse, l'harmonie des mouvements, le calibrage de la force, et l'utilisation correcte des objets.

Le modèle de Rasch a également permis la transformation des scores totaux bruts, obtenus suite à l'évaluation de la session de jeu, en mesures linéaires qui peuvent être utilisées pour suivre l'évolution de la coordination des enfants atteints de TDC. La difficulté des items et celle des critères qualitatifs ont pu être déterminées en fonction des scores attribués pour l'ensemble des enfants par l'expérimentateur à chacun de ceux-ci. Les items et les critères ont pu être classés par ordre croissant de difficulté selon le niveau de coordination et de performance qualitative nécessaire à leur réussite. Les enfants ont également pu être classés sur cette échelle selon leur niveau de coordination/performance qualitative. La hiérarchie des critères du LUDO-TDC qualitatif observée semble pertinente et relativement représentative des difficultés décrites dans la littérature. Ainsi, il est normal que, dans un trouble développemental de la coordination, le critère qualitatif le plus difficile à réaliser soit la coordination. Ensuite, ce sont les critères de la précision, de la capacité d'effectuer des doubles tâches, du calibrage de la force et de la vitesse qui sont définis comme étant les plus difficiles. Des études scientifiques s'intéressant à la réalisation des tâches motrices ont en effet mis en évidence une lenteur, une inexactitude, une imprécision, et une variabilité plus importantes de la performance motrice des enfants atteints de TDC comparés à leurs pairs sains. Certaines études expliquent aussi que les enfants ayant un TDC auraient des difficultés à maintenir stable la pression qu'ils exercent avec leurs doigts sur une manette (Huron, 2011). Il est toutefois nécessaire de nuancer la difficulté du critère du calibrage de la force dans notre étude. En effet, la hiérarchie des critères est influencée par le fait que, pour deux d'entre-eux (« calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets »), le système de cotation à 3 catégories de réponse a été modifié en une échelle dichotomique étant donné que la première catégorie de réponse n'était pas discriminée par l'expérimentateur. Par ailleurs, il n'est pas étonnant que le critère relatif à la capacité d'effectuer des doubles tâches soit difficile étant donné que les enfants atteints de TDC n'arrivent pas à automatiser leurs gestes et que chacune de leurs actions nécessite un effort sur le plan cognitif (Ma-

zeau & Le Lostec, 2010). La hiérarchie des items du Ludo-Tdc quantitatif est moins évidente mais semble cliniquement pertinente puisque les tâches les plus difficiles concernent des activités mettant en jeu la coordination motrice globale (e.g., « pantin en criant le mot choisi », « faire un demi-tour sur soi-même en tournant ») et des activités de coordination motrice fine nécessitant une bonne organisation spatio-temporelle (e.g., « pierre, papier, ciseaux des 2 mains simultanément », « tracer le chemin dans un modèle », « enfiler des perles selon un ordre de couleurs »).

Le Ludo-Tdc est une échelle unidimensionnelle qui mesure de façon dominante la coordination et la performance qualitative avec laquelle les tâches de coordination sont réalisées sans que d'autres caractéristiques ne viennent biaiser les résultats de l'évaluation. Les items du Ludo-Tdc quantitatif couvrent uniformément une large étendue de niveaux de coordination distincts. La fiabilité du Ludo-Tdc quantitatif est excellente (R=0,94) et permet de distinguer 6 niveaux de coordination statistiquement différents. Cela démontre que les items choisis sont adaptés et ont le potentiel de mesurer la coordination d'une large gamme d'enfants atteints de TDC. Les critères du Ludo-Tdc qualitatif couvrent une large plage de performances mais présente quelques zones pour lesquelles des enfants de niveaux relativement proches ne peuvent être distingués. La fiabilité du Ludo-Tdc qualitatif est donc moindre (R=0,90) mais reste néanmoins excellente d'un point de vue clinique et permet de discriminer 4 niveaux de performance statistiquement différents. La fiabilité du Ludo-Tdc est donc proche de celle du M-ABC (R=0,96), l'outil le plus utilisé actuellement pour évaluer les coordinations des enfants atteints de TDC (Geuze, 2005). Compte tenu de sa bonne fiabilité, le Ludo-Tdc semble donc posséder les qualités psychométriques requises pour mesurer des changements de coordination cliniquement significatifs, obtenus suite à une rééducation. Cependant, la sensibilité aux changements du Ludo-Tdc doit encore être investiguées dans des études longitudinales.

La capacité du Ludo-Tdc à discriminer les mesures de coordination et les performances qualitatives des enfants atteints de TDC de celles des enfants sains appariés en âge et en sexe a également été investiguée. Les échelles quantitatives et qualitatives du Ludo-Tdc sont toutes deux capables de discriminer de manière significative les deux populations d'enfants ($p<0,001$). Cependant, la taille des échantillons est insuffisante pour déterminer le pourcentage exact d'enfants ayant un TDC qui peuvent être discriminés par le Ludo-Tdc. Il faudrait dans le futur créer des normes afin de déterminer le niveau minimal de coordination à acquérir pour chaque tranche d'âge afin de ne pas présenter

de déficit. Ces normes permettraient aux thérapeutes d'évaluer le vrai niveau de coordination des enfants atteints de TDC en prenant en compte l'effet des changements développementaux liés à l'âge.

La nature hiérarchique des échelles quantitative et qualitative du Ludo-Tdc, grâce au classement des items/critères par ordre croissant de difficulté selon le niveau de coordination/performance nécessaire à leur réussite, semble très intéressante pour les thérapeutes. En effet, elle permet d'identifier un pattern de progression que les enfants devraient suivre compte tenu de leur niveau de coordination ou de performance qualitative dans des tâches de coordination. Ce pattern de progression peut être utilisé par les thérapeutes afin d'orienter la prise en charge vers des objectifs adaptés à l'enfant et réalisables dans le temps. Le Ludo-Tdc peut également permettre aux thérapeutes de vérifier l'efficacité de leur prise en charge.

Le Ludo-Tdc se destine aussi bien aux ergothérapeutes, acteurs principaux de la rééducation du TDC, qu'aux kinésithérapeutes et aux psychomotriciens (nouvelle discipline émergente mais pas encore reconnue comme telle). Tous ces intervenants sont susceptibles et capables de guider l'enfant vers un meilleur développement de ses habiletés praxiques et vers une meilleure compensation de certaines d'entre-elles en l'encourageant à utiliser différentes modalités sensorielles, une représentation d'images mentales ou encore un support audio-verbal (Breton & Léger, 2007 ; Gérard & Brun, 2005 ; Pannetier, 2007). Le kinésithérapeute, comme le psychomotricien, va permettre de travailler le schéma corporel de l'enfant, son intégration sensorimotrice, son organisation et sa structuration spatiale, ainsi que ses coordinations globales et ses praxies. Il peut aussi utiliser des techniques de relaxation (Breton & Léger, 2007). L'ergothérapeute axera quant à lui son intervention sur l'organisation visuo-spatiale, la motricité fine et la planification des gestes quotidiens. Le rôle de chacun tient une place à part entière dans la prise en charge de l'enfant qui doit être multidisciplinaire. L'action de chacun est bénéfique pour le travail de l'autre et surtout pour l'enfant. L'évolution de ce dernier en dépendra et dépendra aussi de ses capacités sur les plans cognitif et langagier et de son état psychoaffectif (Gérard & Brun, 2005).

L'étude présente certaines limites. Premièrement, des enfants atteints d'un TDC non diagnostiqués pourraient être présents dans l'échantillon d'enfants sains étant donné que le TDC toucherait environ 6 % des enfants âgés entre 5 et 12 ans (Breton, & Léger, 2007 ; Missiuna *et al.*, 2006). Quant à l'échantillon d'enfants atteints de TDC, il pourrait contenir des enfants diagnostiqués comme tel mais qui ne seraient pas atteints de ce trouble étant donné la

fréquence des erreurs de diagnostic (Mazeau, & Le Lostec, 2010). Deuxièmement, l'étude portait sur la tranche d'âge d'enfants âgés de 5 à 12 ans. Comme expliqué précédemment, aucun enfant atteint de TDC âgé de 5 ans n'a pu être recruté. Bien que l'outil semble tout à fait adapté à cette catégorie d'âge puisqu'il a été conçu comme tel, il serait intéressant de refaire l'étude en intégrant des enfants de 5 ans. Troisièmement, la taille de l'échantillon est insuffisante pour le calibrage d'un instrument bien ciblé lequel nécessite 100 à 200 données (Linacre, 1994). Cependant, notre échantillon de 20 enfants atteints de TDC permet d'avoir un aperçu prometteur des qualités psychométriques du Ludo-Tdc. Quatrièmement, il serait intéressant de développer une histoire plus adaptée aux plus grands. Le thème du jeu proposé dans le Ludo-Tdc a été pensé de manière à convenir aussi bien aux garçons qu'aux filles et aussi bien aux plus petits qu'aux plus grands. Dans la pratique, certains enfants de 10-12 ans semblaient s'amuser un peu moins que les petits. Cinquièmement, l'examinateur qui a fait passer les sessions du jeu aux enfants est la même personne qui a donné les scores quantitatifs et qualitatifs sur base des vidéos. À l'avenir, il serait judicieux d'effectuer la cotation en aveugle (sur base des vidéos) en ne sachant pas le groupe d'appartenance (TDC ou sain) des enfants par une autre personne que l'examinateur qui ferait passer le jeu. Une autre limite dont il faut tenir compte est que l'outil évalue le niveau de coordination/performance de l'enfant uniquement à un moment donné. Il ne s'agit donc pas d'une moyenne de performances basée sur un ensemble d'observations faites dans un certain délai de temps. Les performances motrices des enfants atteints de TDC se caractérisent souvent par une certaine fluctuation qui peut les amener à ne plus pouvoir faire des gestes qu'ils étaient pourtant capables de faire la veille (Huron, 2011). Il se peut par conséquent que, le jour de l'évaluation, l'enfant ne soit pas au meilleur de ses capacités ou au contraire qu'il le soit. L'état de fatigue de l'enfant, son niveau de concentration, l'environnement, et la présence ou non d'une double tâche peuvent également influencer les performances motrices des enfants atteints de TDC (Mazeau, & Le Lostec, 2010). Dès lors, il serait peut-être pertinent d'effectuer plusieurs évaluations à des moments différents et de faire une sorte de moyenne des performances observées.

La validation d'un outil de mesure nécessite de nombreuses étapes. Ainsi, il faudrait vérifier l'ensemble des résultats obtenus avec un échantillon plus grand. La validité concomitante du Ludo-Tdc pourrait aussi être investigué en comparant ses mesures quantitatives et qualitatives avec les scores obtenus par un outil déjà validé tel que le M-ABC. Il serait également intéressant d'étudier la sensibilité aux changements du Ludo-Tdc par une étude longitudinale.

5. Conclusion

L'étude avait deux objectifs principaux. Le premier était de concevoir un outil d'évaluation, le Ludo-Tdc, unidimensionnel et fiable, capable de mesurer les coordinations des enfants atteints d'un trouble développemental de la coordination âgés de 5 à 12 ans. Le second objectif concernait l'investigation de la validité du Ludo-Tdc en vérifiant la capacité de l'outil à discriminer le niveau d'habiletés motrices des enfants atteints de TDC par rapport à celui des enfants sains du même âge et du même sexe.

Les habiletés motrices (i.e., coordinations et qualités avec lesquelles les tâches sont réalisées) faisant partie des variables latentes, cachées au sein de l'individu, il n'était pas possible de les mesurer directement. Pour les mesurer, il faut observer la performance de l'enfant dans la réalisation de diverses tâches impliquant les coordinations. Différentes tâches et critères qualitatifs ont été sélectionnés à partir d'échelles de mesure existantes et sur l'avis de plusieurs experts. Le modèle de Rasch a ensuite été employé afin de transformer les scores totaux bruts attribués aux enfants par l'expérimentateur en mesures linéaires. Cet outil statistique a permis de conserver uniquement les tâches et les critères qualitatifs satisfaisant les exigences d'une mesure objective.

L'outil d'évaluation final, le Ludo-Tdc, est finalement composé de 32 items couvrant 8 domaines distincts des habiletés motrices et de 8 critères qualitatifs. La fiabilité des deux échelles de mesure, à savoir l'échelle quantitative qui mesure le niveau de coordination des enfants et l'échelle qualitative qui évalue la performance qualitative avec laquelle les enfants effectuent les tâches de coordination, est excellente (respectivement de 0,94 et 0,90). Le Ludo-Tdc est également unidimensionnel et capable de discriminer les enfants atteints de TDC des enfants sains du même âge et du même sexe.

Malgré les limitations de l'étude, cette dernière a permis de concevoir un outil d'évaluation prometteur pour une possible application en clinique, compte tenu de ses bonnes propriétés métriques actuelles. Le Ludo-Tdc permet d'ores et déjà d'obtenir « une photographie » relativement précise de la coordination des enfants atteints de TDC et de la performance avec laquelle ils réalisent les tâches de coordination. Il permet également de discriminer la coordination des enfants atteints de TDC de celle des enfants sains. Le Ludo-Tdc devrait donc permettre la mise en place d'une prise en charge adaptée et personnalisée à chaque enfant et la vérification de son efficacité.

Remerciements

Nous remercions Madame Laura Bertleff, neuropsychologue indépendante, titulaire d'un Master en Neuropsychologie et Développement cognitif, spécialisée dans les troubles attentionnels et exécutifs, ainsi qu'en coaching scolaire et méthode de travail, pour l'aide qu'elle a apporté dans le recrutement de l'échantillon des enfants atteints de TDC. Nous remercions également l'école primaire fondamentale libre des Sœurs de la Providence de Gosselies (GPF2) ainsi que l'asbl Ecoline et Caracole qui ont permis d'acquérir les données des enfants sains. Nous remercions bien sûr les enfants, atteints de TDC et sains, et leurs parents d'avoir participé à l'étude. Enfin, nous tenons à remercier Cécile Jonart qui a participé à la création physique du jeu et plus particulièrement des illustrations, véritables œuvres d'art.

Annexe 1 : Systèmes de cotation

A1.1. Système de cotation quantitatif

Ce système de cotation évalue la difficulté de chacune des tâches (i.e., items) du jeu au travers de la performance de l'enfant à les réaliser.

L'échelle de cotation était divisée en 4 catégories de réponse (de 0 à 3) avant l'analyse de Rasch (tableau 4). L'analyse de Rasch a ensuite montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû dès lors être regroupées ensemble. L'échelle de cotation finale, après l'analyse de Rasch, était donc divisée en 3 catégories de réponse (de 0 à 2).

Score	Définition	Explication	Score définitif*
0	**La réalisation de la tâche est <u>impossible</u>**	La tâche est inefficace. L'enfant est incapable de réaliser la tâche seul ou de la réaliser avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur.	0
1	**<u>Beaucoup de difficultés</u> qui affectent la réalisation de la tâche**	La tâche est peu efficace, réalisée avec beaucoup d'efforts, d'inconfort, incorrectement, très lentement et de façon saccadée, avec imprécision, sans aucun soin. OU la tâche est possible uniquement avec une grande aide (verbale ou démonstrations) de l'examinateur.	
2	**<u>Légères difficultés</u> qui n'affectent pas ou peu la réalisation de la tâche**	La tâche est partiellement efficace, réalisée sans aide ou tout au plus avec une petite aide, avec quelques efforts, un peu plus lentement et avec un léger manque de fluidité, de précision et de propreté.	1
3	**<u>Aucune difficulté</u> lors de la réalisation de la tâche**	La tâche est efficace, réalisée sans aide, sans effort, confortablement, correctement, avec une vitesse appropriée et avec fluidité, précisément, et proprement.	2

Tableau n°4.
Système de cotation quantitatif avant l'analyse de Rasch sur une échelle à 4 catégories de réponse
Le score définitif représente le système de cotation quantitatif après l'analyse de Rasch sur une échelle à 3 catégories de réponse. L'analyse de Rasch a montré que les deux premières catégories de réponses n'étaient pas bien discriminées. Elles ont dû dès lors être regroupées. La première catégorie (score de 0) est donc définie comme « grandes difficultés (qui affectent la réalisation de la tâche ou qui la rendent impossible à réaliser) ».

A1.2. Système de cotation qualitatif

Ce système de cotation évalue les qualités (i.e., les critères) avec lesquelles l'enfant réalise le plus fréquemment l'ensemble des tâches du jeu.

L'échelle de cotation était divisée en 4 catégories de réponse (de 0 à 3) avant l'analyse de Rasch. L'analyse de Rasch a ensuite montré que les deux premières catégories de réponse n'étaient pas bien discriminées et ont dû dès lors être regroupées ensemble. L'échelle de cotation finale, après l'analyse de Rasch, était donc divisée en 3 catégories de réponse (de 0 à 2).

Voici pour les 10 qualités investiguées, le système de cotation qualitatif final.

Vitesse

Il faut évaluer si l'enfant réalise les tâches à une vitesse appropriée pour son âge et l'impact que la vitesse a sur l'efficacité de la réalisation des tâches.

0 = Vitesse totalement inappropriée (score initial de 0) ou très lente (score initial de 1)

Les tâches ne sont pas réalisées. La vitesse est tellement lente que la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur est impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les tâches sont réalisées avec beaucoup de lenteur, ce qui perturbe leur déroulement. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré sa grande lenteur.

1 = Vitesse légèrement lente (score initial de 2)

Les tâches sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide, avec une certaine lenteur, mais leur déroulement n'est pas essentiellement affecté.

2 = Vitesse normale (score initial de 3)

Les tâches sont réalisées sans aide avec une vitesse appropriée à leur déroulement efficace.

Harmonie des mouvements

L'évaluation de ce critère étudie si les mouvements produits pour réaliser les tâches sont harmonieux, fluides et souples ou au contraire saccadés et rigides. Ce critère étudie par exemple la synchronisation des muscles agonistes/antagonistes servant à fluidifier les mouvements. L'impact que l'harmonie des mouvements a sur la réalisation des tâches est également étudié.

0 = Mouvements très saccadés ou rigides empêchant le déroulement des tâches (score initial de 0) ou perturbant leur déroulement (score initial de 1)

La réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur est impossible à cause des mouvements extrêmement saccadés ou rigides de l'enfant. Besoin d'une aide physique.

Ou

La réalisation des tâches par l'enfant est fortement perturbée à cause des mouvements très saccadés ou rigides de l'enfant. L'enfant a besoin des aides (verbales ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré la dysharmonie de ses mouvements.

1 = Mouvements légèrement saccadés ou rigides (score initial de 2) n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide.

2 = Mouvements synchronisés, fluides, harmonieux (score initial de 3) menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Coordination

L'évaluation de ce critère étudie la coordination des membres supérieurs avec les membres inférieurs, la coordination bilatérale des membres gauches avec les membres droits, et la coordination oculo-manuelle. On évalue ici la capacité à coordonner, avec timing, fluidité et précision, les mouvements. C'est l'efficacité avec laquelle les membres et les yeux sont utilisés ensemble qui est évaluée.

0 = Incoordination totale (score initial de 0) ou grande incoordination (score initial de 1)

Les mouvements réalisés de façon inefficace (non fluide et imprécise) empêchent la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les mouvements sont réalisés de façon peu efficace (peu fluide et peu précise) et affectent le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré sa grande incoordination.

1 = Légère incoordination (score initial de 2)

La capacité à coordonner les mouvements de façon fluide et précise est discutable mais elle n'affecte pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Bonne coordination (score initial de 3)

Les mouvements sont réalisés ensemble de façon efficace menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Organisation séquentielle des gestes

L'évaluation de ce critère étudie si les gestes (série de mouvements) sont logiquement et adéquatement organisés, coordonnés dans le temps et dans l'espace dans l'intention de réaliser une action finalisée, de permettre le déroulement efficace des tâches. On regarde si l'ordre des étapes des gestes complexes est correct, s'il y a un bon découpage des tâches, s'il ne manque pas une ou plusieurs étapes aux gestes (omission), si les gestes ne sont pas simplifiés ou abrégés (passage d'une action inachevée à une autre).

0 = Absence d'organisation séquentielle des gestes (score initial de 0) ou grande désorganisation séquentielle des gestes perturbant le déroulement des tâches (score initial de 1)

L'absence d'organisation séquentielle des gestes empêchent la réalisation des tâches par l'enfant seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Le déroulement des tâches est perturbé par la grande désorganisation séquentielle des gestes. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré sa grande désorganisation séquentielle des gestes.

1 = Légère désorganisation séquentielle des gestes (score initial de 2) n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide. Des erreurs de séquences temporelles et/ou un mauvais découpage des tâches peuvent être présents mais l'enfant parvient in fine à réaliser les tâches.

2 = Bonne organisation séquentielle des gestes (score initial de 3) menant au déroulement efficace et sans aide des tâches.

Précision

L'évaluation de ce critère étudie la précision avec laquelle les gestes sont réalisés et l'impact qu'elle a sur l'accomplissement des tâches. La précision est l'exactitude, la finesse, la netteté avec laquelle les gestes sont effectués afin de réaliser les tâches.

0 = Imprécision totale (score initial de 0) ou grande imprécision (score initial de 1)

L'imprécision est telle qu'elle empêche l'enfant de réaliser les tâches seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Les gestes sont effectués avec beaucoup d'approximation et d'inexactitude et perturbent le déroulement des tâches. L'exécution des tâches est globalement médiocre. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré ses gestes très imprécis.

1 = Légère imprécision (score initial de 2)

Les gestes sont effectués avec une certaine approximation n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Bonne précision (score initial de 3)

Les gestes sont effectués avec exactitude permettant le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Adresse

L'évaluation de ce critère étudie l'habileté/aisance (virtuosité) avec laquelle les tâches sont réalisées. On regarde la fréquence avec laquelle les objets/outils chutent ou s'échappent des mains de l'enfant. On regarde si l'enfant parvient à atteindre par une action quelconque le résultat initialement escompté. Il s'agit de la facilité ou de la difficulté à réaliser les actions.

0 = Chutes d'objets/d'outils extrêmement fréquentes (score initial de 0) ou fréquentes perturbant le déroulement des tâches (score initial de 1)

Chutes d'objets/d'outils extrêmement fréquentes (> 6 fois) rendant l'enfant incapable de réaliser seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur les tâches. Besoin d'une aide physique.

Ou

Chutes d'objets/d'outils fréquentes (de 3 à 6 fois) perturbant le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré les chutes d'objets/d'outils fréquentes.

1 = Chutes d'objets/d'outils peu fréquentes (de 1 à 3 fois) **(score initial de 2)** n'affectant pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Absence de chutes d'objets/d'outils (score initial de 3) permettant le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Calibrage de la force

L'évaluation de ce critère étudie l'efficacité avec laquelle l'enfant régule sa force de préhension en fonction de la nature des tâches. C'est la capacité à tenir les objets/outils avec une force de préhension appropriée qui est évaluée.

0 = Pas de calibrage (score initial de 0) ou calibrage de la force peu efficace (score initial de 1)

La force est tellement inappropriée qu'elle en rend la réalisation des tâches, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur, impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'enfant a difficile d'adapter de façon appropriée sa force de préhension. Les objets glissent ou sont écrasés. Cela affecte le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré son calibrage de force peu efficace.

0 = Calibrage de la force partiellement efficace (score initial de 2)

L'enfant met un peu plus ou un peu moins de force que nécessaire. On a l'impression que les objets sont trop serrés ou au contraire qu'ils vont glisser. Cela n'affecte pas le déroulement des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

1 = Calibrage de la force efficace (score initial de 3)

L'enfant régule sa force de préhension de façon appropriée. Cela permet le déroulement efficace et sans aide des tâches.

Utilisation correcte d'objets/outils

L'évaluation de ce critère étudie si l'enfant utilise correctement et efficacement les objets/outils qui lui sont proposés. On regarde si la manipulation de l'objet/outil est correcte, si la préhension est effectuée au bon endroit sur l'objet/outil (par exemple, la saisie de l'objet se fait sur le manche ou en dehors de celui-ci) et si la fonction de l'objet/outil est respectée.

0 = Utilisation inefficace (score initial de 0) ou peu efficace des objets/outils (score initial de 1)

L'utilisation des objets/outils est toujours inadéquate et rend la réalisation des tâches, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur, impossible. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'utilisation des objets/outils est souvent inadéquate et perturbe le déroulement des tâches. L'enfant a besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les tâches malgré son utilisation peu efficace des objets/outils.

0 = Utilisation partiellement efficace des objets/outils (score initial de 2)

L'utilisation des objets/outils n'est pas toujours d'emblée adéquate, mais l'enfant parvient in fine à réaliser les tâches, avec de légères difficultés, sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

1 = Utilisation efficace et correcte et facile des objets/outils (score initial de 3)

L'utilisation des objets/outils est adéquate et facile et permet la réalisation efficace et sans aide des tâches.

Capacité d'effectuer des doubles tâches

L'évaluation de ce critère étudie la capacité à réaliser efficacement deux actions distinctes simultanément. La réalisation de doubles tâches nécessite qu'au moins une des deux tâches soit automatisée pour permettre leur réalisation. Toute tâche non automatisée absorbera une grande partie des ressources attentionnelles disponibles, imposant l'exécution isolée de la tâche en question.

0 = Réalisation impossible (score initial de 0) ou peu efficace (score initial de 1) des doubles tâches

Incapacité à réaliser deux actions distinctes simultanément, seul ou avec les aides (verbales ou démonstrations) de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

Beaucoup de fatigue, de lenteur, d'imprécision, d'effort et d'inconfort sont observés lors de la réalisation simultanée de deux actions distinctes. Cela perturbe le déroulement de chaque tâche. Besoin d'une grande aide (verbale ou démonstrations) de la part de l'examinateur pour réaliser les doubles tâches.

1 = Réalisation partiellement efficace des doubles tâches (score initial de 2)

Un peu de fatigue, de lenteur, d'imprécision, d'effort et d'inconfort sont observés lors de la réalisation simultanée de deux actions distinctes, mais cela n'affecte pas le déroulement de chacune des tâches qui sont réalisées sans aide ou tout au plus avec une petite aide.

2 = Réalisation efficace des doubles tâches (score initial de 3)

Capacité à réaliser deux actions distinctes simultanément, efficacement et sans aide.

Persévérance dans les erreurs

L'évaluation de ce critère étudie l'attitude spontanée de l'enfant face à l'adoption de stratégies inefficaces pour la réalisation des tâches. On regarde si l'enfant adapte sa stratégie en fonction du résultat des actions. On considère que l'enfant ne persévère pas dans ses erreurs lorsque les tâches sont initialement réalisées efficacement, ne nécessitant donc pas de changement de stratégies.

0 = Persévérance totale (score initial de 0) ou importante (score initial de 1)

L'enfant persévère dans des stratégies inefficaces, même après corrections/instructions verbales ou démonstrations de l'examinateur. Besoin d'une aide physique.

Ou

L'enfant persévère dans des stratégies inefficaces jusqu'aux corrections/instructions verbales ou démonstrations de l'examinateur.

1 = Persévérance partielle (score initial de 2)

L'enfant persévère un certain délai de temps dans des stratégies inefficaces, puis finit par changer spontanément de stratégies.

2 = Aucune persévérance (score initial de 3)
L'enfant ne persévère pas dans des stratégies inefficaces. Il adapte sa stratégie en fonction du résultat des actions spontanément et rapidement
Ou
Les stratégies sont d'emblée efficaces.

Annexe 2. Détails quant aux analyses statistiques

A2.1. Modèle de Rasch

Les données ont été analysées par le modèle « *partial credit* » qui, contrairement au modèle « *rating scale* », ne force pas les items/critères à avoir la même structure de réponse. De ce fait, la localisation relative des seuils est différente d'un item/critère à l'autre, ce qui est plus représentatif de la réalité (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

Le modèle de Rasch utilise le logit comme unité de mesure. Le logit est défini comme le logarithme népérien du rapport de vraisemblance de réussite, à savoir le rapport entre la probabilité de réussite d'un enfant à un item/critère et la probabilité d'échec de ce même enfant à ce même item/critère. Une unité logit est aussi définie comme la différence entre la capacité d'un enfant et la difficulté d'un item/critère pour laquelle l'enfant a un rapport de vraisemblance de réussite égal à un facteur exponentiel $e^1 = 2{,}71$. Lorsqu'un enfant affiche une progression de 1 logit, cela signifie qu'il a 2,71 fois plus de chance de réussir n'importe quel item/critère. S'il a une progression de 2 logits, il a alors 7,39 fois (i.e., e^2) plus de chance de réussir n'importe quel item/critère. Les échelles de mesure utilisant le logit comme unité sont donc des échelles linéaires car une augmentation d'une unité logit augmente le rapport de vraisemblance de réussite par un facteur constant de 2,71 tout au long de l'échelle.

A2.2. Sélection des items et des critères pour créer le Ludo-Tdc

À partir de l'analyse vidéo des 49 items et des 10 critères qualitatifs, des analyses successives ont été effectuées afin de supprimer les items et critères qualitatifs ne satisfaisant pas aux critères d'une mesure objective.

A2.2.1. Items/critères non extrêmes

Un item/critère est considéré comme extrême lorsque l'examinateur attribue, pour cet item/critère, un score minimal (« impossible ») ou maximal (« aucune difficulté ») à tous les enfants. Ce type d'item/critère ne peut être estimé précisément par le modèle de Rasch car sa localisation théorique se trouve à l'infini sur l'échelle de mesure. Les items/critères extrêmes ont donc été supprimés.

A2.2.2. Ordre des seuils des catégories de réponse

Il est essentiel de vérifier que l'échelle à 4 catégories de réponse est utilisée par l'examinateur comme postulé à priori, c'est-à-dire que plus la catégorie de réponse est élevée, plus le niveau de coordination/performance qualitative avec laquelle les tâches sont réalisées est élevé. Si l'ordre des catégories de réponse est vérifié, l'examinateur doit toujours attribuer un score plus élevé aux enfants ayant un niveau de coordination/performance qualitative plus élevé qu'aux enfants ayant un moindre niveau, et ce, pour n'importe quel item/critère donné (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Autrement dit, pour un item/critère donné, la probabilité de réussite doit augmenter en fonction du niveau de coordination/performance qualitative de l'enfant. Lorsque cela n'est pas le cas, l'ordre des seuils entre les catégories de réponse successives est inversé, signifiant ainsi que l'échelle de réponse n'a pas été utilisée par l'examinateur comme postulé à priori (Bouffioulx, Arnould, & Thonnard, 2008). Face à un désordre de seuils, deux solutions peuvent être envisagées. Premièrement, les items/critères présentant un désordre de seuils peuvent être supprimés. Deuxièmement, les catégories de réponse adjacentes des items/critères présentant un désordre de seuils peuvent être regroupées en une seule catégorie. Cela permet de conserver les items/critères qui apportent une information pertinente sur la coordination des enfants ou sur la qualité des performances qu'ils effectuent, et ce, malgré le désordre de seuils initial.

A2.2.3. Ciblage adéquat des items/critères par rapport aux mesures des enfants atteints de TDC

Le ciblage des items/critères correspond à la comparaison entre la distribution des niveaux de coordination/performance qualitative des enfants atteints de TDC et la distribution de la localisation des seuils des items/critères sur l'échelle de mesure. La difficulté moyenne des items/critères est fixée par convention à 50 % de logits. Pour obtenir un ciblage correct, la distribution des seuils des items/critères doit être centrée par rapport à la distribution des mesures des enfants atteints de TDC. Les items/critères considérés comme trop faciles ou trop difficiles par rapport aux enfants de l'échantillon n'apportent aucune information pertinente en termes de mesures et peuvent donc être supprimés sans que l'outil d'évaluation ne perde en précision.

A2.2.4. Unidimensionnalité

Le concept d'unidimensionnalité est la capacité de l'outil d'évaluation à ne mesurer qu'un attribut unique de l'enfant évalué, même si cet enfant est caractérisé par de nombreux autres attributs (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Dans le cas de la coordination, aucun autre attribut des enfants ou des items/critères que la coordination ou la performance qualitative avec laquelle les tâches nécessitant une coordination sont réalisées ne doit expliquer théoriquement la probabilité de choisir une catégorie de réponse. Des items/critères présentant de trop grandes différences entre les scores observés et les scores prédits/attendus par le modèle de Rasch ne satisfont pas

au concept d'unidimensionnalité car ils sont influencés par d'autres attributs que le niveau de coordination/performance qualitative. La similarité entre les scores observés et attendus a été investiguée pour chaque item/critère par l'indice d'ajustement χ^2. L'échantillon total a été divisé en trois classes d'intervalle de niveau de coordination/performance qualitative progressivement croissant. Les résidus ont été standardisés en les divisant par la déviation standard du score attendu pour chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). La statistique d'ajustement χ^2 a été calculée pour chaque item comme la somme des carrés des résidus standardisés de chaque classe d'intervalle (Andrich, & Sheridan, 2005). Les items présentant une *p*-valeur de la statistique χ^2 inférieure à 0,05 ont été supprimés car ils étaient multidimensionnels (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A2.2.5. Indépendance locale

Il existe une dépendance locale lorsque la réponse que l'examinateur attribue à un item/critère de l'échelle dépend de sa réponse à un autre item/critère de la même échelle (Lundgren-Nilsson *et al.*, 2013). L'indépendance locale signifie qu'après avoir pris en compte la variable mesurée, aucune relation ne devrait exister entre les scores obtenus par les enfants aux différents items/critères. En effet, le score d'un enfant à un item/critère ne devrait dépendre que de la différence entre sa capacité et la difficulté de l'item/critère et des seuils de l'item/critère. La dépendance locale peut être identifiée en observant la matrice des corrélations des résidus des items/critères. Les résidus sont les différences entre les scores observés et les scores prédits par le modèle de Rasch. La dépendance locale n'est pas une menace pour les qualités psychométriques d'un outil de mesure si la valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus est inférieure à 0,2 (Wright, 1996). Les items/critères dont les résidus étaient hautement inter-corrélés ($R \geq 0,8$) ont été supprimés.

A2.3. Fiabilité des échelles de mesure du Ludo-Tdc

Le coefficient de fiabilité (R) est défini comme la proportion de la variance des mesures observées (= scores réels + erreurs de mesure) qui est attribuable à la variance des mesures réelles. Il varie entre 0 (fiabilité nulle) et 1 (fiabilité parfaite). Des valeurs proches de 1 signifient que l'outil est fiable car les mesures observées représentent essentiellement les capacités réelles des enfants. Cet indice est analogue au coefficient de consistance interne traditionnel, le coefficient alpha de Cronbach (1951).

L'index de séparation des personnes (G) est égal à la racine carrée du rapport entre le coefficient de fiabilité et son complément (Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005). Cet index permet ensuite de calculer le nombre de niveaux de coordination/performance qualitative différents qui peuvent être statistiquement distingués, grâce au Ludo-Tdc, à l'intérieur de l'échantillon selon la formule suivante : $(4G+1)/3$ (Fisher, 1992 ; Penta, Arnould, & Decruynaere, 2005).

A2.4. Validité des échelles de mesure du Ludo-Tdc

La validité conceptuelle du Ludo-Tdc a été explorée en vérifiant l'hypothèse selon laquelle les niveaux de coordination et les performances qualitatives des enfants atteints de TDC étaient inférieurs à ceux des enfants sains du même âge. A cette fin, la valeur des seuils et la difficulté des items/critères lors de l'analyse des données des enfants sains ont été fixées/ancrées sur les valeurs obtenues lors du calibrage des deux échelles de mesure du Ludo-Tdc chez les enfants atteints de TDC. Cette ancrage était indispensable pour comparer les mesures des enfants ayant un TDC et des enfants sains sur une même échelle étant donné que le modèle de Rasch fixe arbitrairement l'origine à la difficulté moyenne de l'outil de mesure (i.e., 50% de logits).

Annexe 3. Sélection des items du Ludo-Tdc

A3.1. Sélection des items du Ludo-Tdc quantitatif

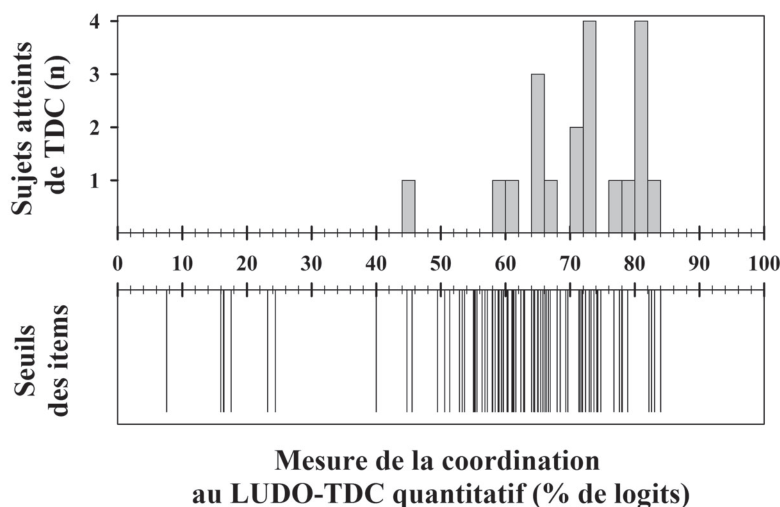


Figure n°6.
Ciblage des 40 items (après élimination des items désordonnés) par rapport aux mesures des enfants atteints de trouble développemental de la coordination (TDC).

Panneau du haut : distribution des mesures de coordination des enfants ayant un TDC. Panneau du bas : distribution des seuils des items en fonction de la mesure de coordination.

Lors de l'analyse des données des enfants atteints de TDC, aucun item extrême n'a été relevé.

Malgré le regroupement des deux premières catégories de réponse, 9 items (e.g., « utiliser un bâton de colle », « sortir la plasticine de son pot », « déchirer une feuille A4 en deux ») présentaient encore un désordre de seuils et ont donc été supprimés.

Les distributions des mesures des enfants ayant un TDC et des seuils des items (i.e., graduations de l'échelle) sont présentées à la figure 6. La distribution des seuils met en évidence deux groupes d'items. Sept items « faciles » avaient leur premier seuil (correspondant au niveau de coordination pour lequel il existe une probabilité égale de répondre « légères difficultés » plutôt que « grandes difficultés ») décentré par rapport au niveau de coordination moyen de l'échantillon. Les 33 items restants avaient leurs deux seuils bien ciblés par rapport au niveau de coordination moyen des enfants ayant un TDC. Les 7 items « faciles » (e.g., « enlever l'élastique autour des cartes de jeu », « dé/recapuchonner un marqueur », « décoller des petites gommettes rondes ») ont été supprimés après s'être assuré que leur suppression n'affectait en rien la précision de la mesure.

Un item (« ouvrir un bocal avec un double système de fermeture ») ne satisfaisait pas aux critères d'unidimensionnalité (*p*-valeur du χ^2 < 0,05) et a donc été supprimé. Les 32 items restants définissaient globalement une variable unique, à savoir le niveau de coordination des enfants ayant un TDC (*p*-valeur du χ^2 global de 0,90).

Enfin, aucun item n'était hautement inter-corrélé avec un autre (R<0,8 pour tous les items). La valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus étant de 0,03 indique que la dépendance locale n'est pas suffisante que pour menacer les qualités psychométriques de l'outil d'évaluation quantitatif.

A3.2. Sélection des items du Ludo-Tdc qualitatif

Lors de l'analyse des données des enfants atteints de TDC, aucun critère qualitatif extrême n'a été relevé.

Malgré le regroupement des deux premières catégories de réponse, un critère qualitatif (« persévérance dans les erreurs ») présentait encore un désordre de seuils et a donc été supprimé.

Deux critères qualitatifs « faciles » (i.e., « calibrage de la force » et « utilisation correcte des objets ») avaient leur premier seuil décentré par rapport à la performance de l'échantillon. Ils n'ont cependant pas été supprimés car la suppression de leur deuxième seuil, lequel était bien ciblé par rapport à la performance de l'échantillon, diminuait la précision de la mesure. Etant donné que la catégorie de réponse « grandes difficultés » (0) n'était jamais observée dans l'échantillon pour ces deux critères qualitatifs, l'échelle polytomique à 3 catégories de réponse a été transformée, pour ces critères, en une échelle dichotomique en regroupant les deux premières catégories (i.e. « grandes difficultés » (0) et « légères difficultés » (1)). Pour les deux critères qualitatifs « faciles », l'échelle dichotomique suivante a donc été utilisée : 0 = « difficultés »

et 1 = « aucune difficulté ». Ainsi, ces deux critères n'incluaient plus qu'un seul seuil bien centré par rapport à la population. Tous les autres critères qualitatifs conservaient leur échelle de mesure à 3 catégories de réponse : 0 = « grandes difficultés », 1 = « légères difficultés », et 2 = « aucune difficulté ».

Un critère qualitatif (« organisation séquentielle des gestes ») ne satisfaisait pas aux critères d'unidimensionnalité (*p*-valeur du χ^2 < 0,05) et a donc été supprimé. Les 8 critères restants définissaient globalement une variable unique, à savoir le niveau de performance qualitative dans des tâches de coordination (*p*-valeur du χ^2 global de 0,88).

Enfin, aucun critère n'était hautement inter-corrélé avec un autre (R<0,8 pour tous les critères). La valeur absolue de la moyenne des corrélations des résidus étant de 0,12 indique que la dépendance locale n'est pas suffisante que pour menacer les qualités psychométriques de l'outil d'évaluation qualitatif.

Annexe 4. Nombres d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du Ludo-Tdc quantitatif

Le tableau 5 indique le nombre d'items retenus dans chaque domaine de coordination en fonction de la phase de développement du Ludo-Tdc quantitatif, à savoir, l'outil préliminaire (avant l'avis des experts), l'outil expérimental (après l'avis des experts) et l'outil final (après l'analyse avec le modèle de Rasch).

Domaines de coordination*	Outil préliminaire (155 items)	Outil expérimental (49 items)	Outil final (32 items)
Coordination motrice globale	**61 (39%)**	**9 (18%)**	**8 (25%)**
Equilibre statique	8 (5%)	1 (2%)	0 (0%)
Equilibre dynamique	8 (5%)	0 (0%)	0 (0%)
Coordinations locomotrices	21 (14%)	3 (6%)	3 (9%)
[MI/MI+MS]	*[11/10] (7%/6%)*	*[2/1] (4%/2%)*	*[2/1] (6%/3%)*
Coordinations manipulatoires	19 (12%)	2 (4%)	2 (6%)
[U/B]	*[8/11] (5%/7%)*	*[0/2] (0%/4%)*	*[0/2] (0%/6%)*
Coordinations non locomotrices	5 (3%)	3 (6%)	3 (9%)
Coordination motrice fine	**94 (61%)**	**40 (82%)**	**24 (75%)**
Praxies idéatoires	65 (42%)	34 (69%)	18 (56%)
[AVJ dont habillage]	*[53 dont 15] (34% dont 10%)*	*[29 dont 8] (59% dont 16%)*	*[15 dont 3] (47% dont 9%)*
Praxies idéo-motrices	6 (4%)	3 (6%)	3 (9%)
Praxies visuo-spatiales et	21 (14%)	2 (4%)	2 (6%)
constructives *[V-S/C]*	*[19/2] (12%/1%)*	*[2/0] (4%/0%)*	*[2/0] (6%/0%)*
Dissociations Mint -Mext	2 (1%)	1 (2%)	1 (3%)

Tableau n°5.
Nombre d'items par domaine de coordination selon la phase de développement du Ludo-Tdc quantitatif
MI = membres inférieurs ; MS = membres supérieurs ; U = unimanuelles ; B = bimanuelles ; A VJ = activités de la vie journalière ; V-S = visuo-spatiales ; C = constructives ; Mint = main interne ; Mext = main externe.

* Les coordinations locomotrices mettent en action tout le corps qui se déplace (e.g., marcher, courir, sauter, ramper) ; les coordinations manipulatoires mettent en action les membres pour contrôler/bouger les objets (e.g., lancer, attraper, faire rouler, shooter, faire rebondir une balle) ; les coordinations non locomotrices mettent en action le corps sans déplacement (e.g., se pencher, (se) tourner, se balancer, s'étirer, pousser, tirer) ; les praxies idéatoires nécessitent une organisation séquentielle de gestes à effectuer pour manipuler un objet (e.g., découper une forme, enfiler des perles, tailler un crayon, fermer les boutons d'une chemise) ; les praxies idéo-motrices nécessitent une organisation du geste moteur en l'absence de manipulation réelle de l'objet (e.g., ouvrir les mains en alternance, pianoter sur la table) ; les praxies V-S nécessitent le maniement des relations spatiales (e.g., tracer un chemin dans un labyrinthe, relier des points avec une latte, copier une forme) ; les praxies constructives concernent des activités d'assemblage et de construction (e.g., empiler des blocs, puzzle) ; et les dissociations Mint - Mext nécessitent une manipulation à l'intérieur de la main (e.g., faire une boulette de papier).

Septante-cinq pour cent des items de la version finale du Ludo-Tdc quantitatif concernent la coordination motrice fine avec le domaine des praxies idéatoires (56% des items) qui est le plus représenté. Quant aux domaines de l'équilibre statique et dynamique, ils ne sont plus du tout représentés dans la version finale. Ces domaines n'avaient pas été jugés pertinents par les experts pour l'évaluation de la coordination chez les enfants atteints de TDC. Notons que, de façon générale, la proportion des items de coordination motrice globale a fortement baissé (de 39 % à 18 %) suite à l'avis des experts. Cependant, tous les items de coordination motrice globale sélectionnés par les experts, sauf un, ont été conservés suite à l'analyse de Rasch. A contrario, la proportion des items de praxies idéatoires a fortement augmenté (de 42 à 69 %) suite à l'avis des experts. La proportion de ces items diminue légèrement dans la version finale de l'outil (56 %). La proportion des items visuo-spatiaux a diminé de façon non négligeable (de 12 à 4 %) suite à l'avis des experts. Le nombre d'items de praxies idéo-motrices, de praxies visuo-spatiales, et de dissociations main interne - main externe restent similaires entre les versions expérimentale et finale du Ludo-Tdc quantitatif.

Bibliographie

Albaret, J.-M., & Noack, N. (1993). L'échelle de coordinations motrices de Charlop-Atwell : étalonnage sur une population d'enfants de 3 ans 6 mois à 6 ans. In *Entretiens de Psychomotricité 1993* (pp.18-24), Paris : Expansion Scientifique Française.

Albaret, J.-M. (1999). Troubles de l'acquisition de la coordination : perspectives actuelles des dyspraxies de développement. Évolutions *psychomotrices*, 11(45), 123-129.

Albaret, J.-M., & Castelnau, P. (2004). Évaluation des troubles du mouvement intentionnel et des fonctions nonverbales. In J. Flessas, & F. Lussier (Eds.), *Actes du Symposium sur les dysfonctions non verbales : les défis du diagnostic et de l'intervention* (pp. 41-51). Montréal : CENOP-FL.

American Psychiatric Association. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV* (4e édit.). Washington, D.C. : American Psychiatric Association.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-V* (5e édit.). Washington, D.C. : American Psychiatric Association.

Andrich, D., Sheridan, B., & Luo, G. (2004). *RUMM2020: Rasch unidimensional models for measurement.* Perth : RUMM Laboratory. http://www.rummlab.com.au

Andrich D., & Sheridan, B. (2005). *Interpreting RUMM2020 : part II, polytomous data.* Perth : RUMM Laboratory Pty Ltd.

Arnould, C., Penta, M., Renders, A., & Thonnard, J.-L. (2004). ABILHAND-Kids : a measure of manual ability in children with cerebral palsy. *Neurology*, 63(6), 1045-1052.

Bouffioulx, E., Arnould, C., & Thonnard, J.-L. (2008). SATIS-Stroke : A satisfaction measure of activities and participation in the actual environment experienced by patients with chronic stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(10), 836-843. https://doi.org/10.2340/16501977-0272

Breton, S., & Léger, F. (2007). *Mon cerveau ne m'écoute pas. Comprendre et aider l'enfant*.

Broca, A. (2009). *Le développement de l'enfant, aspects neuro-psycho-sensoriels* (4e édit.). Paris : Masson.

Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version)*. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54(1), 54-93.

Chambers, M. E., Sugden, D. A. (2002). The identification and assessment of young children with movements difficulties. *International Journal of Early Years Education*, 10(3), 157-176.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.

Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder ? Unravelling the enigma. *Archives of Disease in Childhood*, 92(6), 534-539. https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054

Gérard, C.-L., & Brun, V. (2005). *Les dyspraxies de l'enfant.* Paris : Masson.

Geuze, R. H. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination. Évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant.* Marseille : Solal.

Goldstein, S., & Naglieri, J. A. (2011). *Encyclopedia of Child Behavior and Development.* New York : Springer.

Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992). *Movement Assessment Battery for Children.*, Londres : The Psychological Corporation.

Huron, C. (2011). *L'enfant dyspraxique, mieux l'aider à la maison et à l'*école. Paris : Odile Jacob.

Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 40(12), 796-804.

Kim, Y., Park, I., & Kang, M. (2012). Examining rater effects of the TGMD-2 on children with intellectual disability. *Adapted Physical Activity Quarterly : APAQ*, 29(4), 346-365.

Kirby, A., Sugden, D., & Purcell, C. (2014). Diagnosing developmental coordination disorders. *Archives of Disease in Childhood*, 99(3), 292-296. https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-303569

Krumlinde-Sundholm L., & Eliasson A. C. (2003). Development of the Assisting Hand Assessment : a Rasch-built measure intended for children with unilateral upper limb impairments. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 10(1), 16-26.

Leplat, J. (2001). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique* (Tome 1, 2e édit). Toulouse : Octarès.

Linacre, J. M. (1994). Sample size and item calibration stability. *Rasch Measurement Transactions*, 7(4), 328.

Lundgren-Nilsson, Å., Jonsdottir, I. H., Ahlborg, G., & Tennant, A. (2013). Construct validity of the Psychological General Well Being Index (PGWBI) in a sample of patients undergoing treatment for stress-related exhaustion : a Rasch analysis. *Health and Quality of Life Outcomes*, 11, 2. https://doi.org/10.1186/1477-7525-11-2

Mazeau, M., & Le Lostec, C. (2010). *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*. Issy-Les-Moulineaux : Masson.

Merbitz, C., Morris, J., & Grip, J. C. (1989). Ordinal scales and foundations of misinference. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(4), 308-312.

Missiuna, C., Moll, S., Law, M., King, S., & King, G. (2006). Mysteries and mazes : parents' experiences of children with developmental coordination disorder. *Canadian Journal of Occupational Therapy. Revue Canadienne d'Ergothérapie*, 73(1), 7-17. https://doi.org/10.2182/cjot.05.0010

Pannetier, E. (2007). *La dyspraxie : une approche clinique et pratique*. Montréal : CHU Sainte-Justine.

Penta, M., Tesio, L., Arnould, C., Zancan, A., & Thonnard, J. L. (2001). The ABILHAND questionnaire as a measure of manual ability in chronic stroke patients : Rasch-based validation and relationship to upper limb impairment. *Stroke*, 32(7), 1627-1634.

Penta, M., Arnould, C., & Decruynaere, C. (2005). *Développer et interpréter une échelle de mesure. Applications du modèle de Rasch*. Sprimont : Mardaga.

Rasch, G. (1980). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago : Mesa Press.

Romein, E., & Bard, R. (2011). Comment mesurer le retentissement d'un traitement en situation écologique par une évaluation fiable de la fonction manuelle chez

les enfants présentant une atteinte unilatérale : le Assisting Hand Assessement (AHA). *Motricité cérébrale*, 31(3), 111-118.

Rosenblum, S. (2006). The development and standardization of the Children Activity Scales (ChAS-P/T) for the early identification of children with Developmental Coordination Disorders. *Child : Care, Health and Development*, 32(6), 619-632. https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00687.x

Vaivre-Douret, L., Lalanne, C., Cabrol, D., Ingster-Moati, I., Falissard, B., & Golse, B. (2011). Identification de critères diagnostiques de sous-types de troubles de l'acquisition de la coordination (TAC) ou dyspraxie développementale. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 59(8), 443-453.

Van Dellen, T., Vaessen, W., & Schoemaker, M. M. (1990). Clumsiness definition and selection of subjects. In A.F. Kalverboer (Ed.), *Developmental biopsychology: experimental and observational studies in children at risk* (pp. 223-240). Ann Arbor : University of Michigan Press.

Venetsanou, F., Kambas, A., Ellinoudis, T., Fatouros, I., Giannakidou, D., & Kourtessis, T. (2011). Can the movement assessment battery for children-test be the "gold standard" for the motor assessment of children with Developmental Coordination Disorder ? *Research in Developmental Disabilities*, 32(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.09.006

Volkmar, F. (2013). *Encyclopedia of autism spectrum disorders*. New York : Springer.

Wilson, B. N., Kaplan, B. J., Crawford, S. G., Campbell, A., & Dewey, D. (2000). Reliability and validity of a parent questionnaire on childhood motor skills. *The American Journal of Occupational Therapy : Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 54(5), 484-493.

Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1989). Observations are always ordinal : measurements, however, must be interval. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 70(12), 857-860.

Wright B. (1996). Local dependency, correlations and principal components. *Rasch Measurement Transactions*, 10, 509-11.

Dans nos prochains numéros

Jacques Bair & Jean Mawhin
Le mathématicien Jean-Nicolas Noël (1783-1867) :
un didacticien infinicole du XIXe siècle

Jean Dhombres
Retrouver la première analyse de la cycloïde
dans les échanges entre Roberval et Torricelli

Maurice A. Finocchiaro
Le procès de Galilée :
faits et enjeux, hier et aujourd'hui

Olivier Perru
La diffusion des sciences au XIXe siècle et l'Église catholique :
l'abbé Moigno (1804-1884) et Mgr d'Hulst (1841-1896)

Philippe Caspar
Les musiciens, la maladie et la musique

Jean-Baptiste Coulaud, Anne-Marie Guillaume,
Émilie Bertrand & Anne Genette
« Sup en Poche » : quelle aide pour quels étudiants ?

Analyse critique

Faut-il connaître les causes pour comprendre et intervenir ?

Stefano Bordoni
Université de Bologne
stefano.bordoni@gmail.com

La causalité dans les sciences biologiques et médicales : faut-il connaître les causes pour comprendre et intervenir ? / sous la direction de Claude Debru et Michel Le Moal. – Les Ulis : EDP Sciences, 2017. – 128 p. – (Les ateliers de l'Académie). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 18,00 €. – isbn 978-2-7598-1716-0.

Les textes réunis dans cet ouvrage sont pour la plupart issus du colloque *Faut-il connaître les causes pour comprendre et intervenir ? Questions sur la causalité dans les sciences biologiques et médicales*, organisé le mai 2016 par l'Académie des sciences, à l'initiative de sa section de biologie humaine et sciences médicales. Lors de celui-ci, plusieurs questions ont été posées : comment le concept de causalité est-il actuellement utilisé dans les sciences de la vie ? Quelles sont les difficultés spécifiques de son application dans ce contexte ? Comment la causalité peut-elle décrire et/ou prédire les phénomènes physiologiques ? Comment aborder la complexité des vivants à l'aide du concept classique de causalité ? Quels langages et quelles méthodes sont les plus appropriés pour étudier cette complexité ?

Même si le livre comporte un petit nombre de pages et même si les interventions sont brèves, les questions abordées sont nombreuses et importantes, de sorte qu'une synthèse est vraiment difficile. Encore plus difficile est la construction d'une véritable analyse critique, parce qu'il faut trouver des fils conducteurs qui ne sont pas explicitement présents dans l'ouvrage. Aussi, je me concentrerai d'abord sur chaque chapitre, pour montrer la variété des sujets

traités, et ensuite j'essayerai de faire ressortir la place de ce livre dans le débat sur la causalité en sciences biologiques et médicales. Chaque chapitre correspond à une intervention au colloque. Le premier est dédié à quelques clarifications linguistiques et conceptuelles ; le dernier aborde le point de vue des sciences physiques, tandis que les chapitres 2 à 8 sont spécifiquement concentrés sur la causalité dans la physiologie, l'épidémiologie, l'écologie et enfin la psychologie.

Pendant les derniers siècles, quelques scientifiques et philosophes ont critiqué l'utilisation du terme « cause » dans la pratique scientifique. Dans le premier chapitre, *Sur la polysémie du vocabulaire causal*, Anne Fagot-Largeault, membre de l'Académie des sciences et professeur émérite au Collège de France, nous rappelle que la notion de cause avait été critiquée par Bertrand Russell il y a plus d'un siècle. Un débat plus général sur la différence entre séries causales et séries temporelles s'était déjà développé immédiatement après la Révolution scientifique et a continué jusqu'à nos jours (p. 7, 11 et 15). Russell avait proposé d'éliminer le terme « cause » de la recherche scientifique et philosophique. Avant lui, le physicien et philosophe Ernst Mach (1872, pp. 35-37) avait plus spécifiquement conseillé de remplacer ce concept par celui de fonction mathématique. Un débat sur causalité, réductionnisme et déterminisme dans le contexte des sciences de la vie se développa dans les dernières décennies du XIXe siècle. Mathématiciens, physiciens, chimistes, physiologistes, naturalistes et philosophes débattirent sur l'interaction complexe entre le déterminisme causal et les principes téléonomiques dans le développement et le comportement du vivant[1]. Ce colloque s'inscrit donc dans un débat qui a une histoire longue et significative.

1. — Dans l'article *La causalité en médecine*, Jean-François Bach, Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des sciences, souligne l'origine multifactorielle de nombreuses maladies, où facteurs génétiques, épigénétiques et environnementaux contribuent à un état de morbidité (p. 19). Un des problèmes qui s'imposent aujourd'hui dans la physiologie et la pratique clinique est la relation entre « l'agent infectieux qui est la cause de la maladie » et la « mutation donnant lieu à un déficit immunitaire particulier » qui rend le sujet plus fragile envers la maladie même. Mais il y a une question encore plus intéressante : que dire du cas où la maladie n'apparaît pas « en dépit de la présence de la mutation ? ». L'auteur insiste sur la pluralité des causes et sur « l'intrication mal définie » de facteurs génétiques et environnementaux (pp. 20-21).

1. Sur ce débat, voir A. A. Cournot (1861, p. 385 et 401-411), Cl. Bernard (1865, p. 116, 119-120, 150-158 et 302-303), et St. Bordoni (2017, pp. 13-18, 44 et 47-50).

Nous pourrions nous demander pourquoi nous devrions nous borner seulement aux niveaux génétiques et environnementaux au lieu de considérer le corps humain comme une structure complexe où la génétique et l'environnement sont seulement deux composantes parmi beaucoup d'autres. Pourquoi ne pas considérer le corps humain comme un système écologique en interaction avec un plus grand système écologique ? En effet, l'auteur semble sensible à cette perspective plus ample, puisqu'il souligne l'importance de l'épigénétique à côté de la génétique et la nécessité de considérer ce qu'il appelle « le métagénome, en particulier celui du microbiote intestinal » (p. 23). Dans ce contexte, nous rappelons au lecteur que l'être humain est une unité fonctionnelle spécifique, une singularité, mais qu'il n'est pas une unité génétique : le patrimoine génétique de nos cellules se trouve dans un état d'interaction symbiotique avec le patrimoine génétique des bactéries qui vivent dans notre intestin.

Depuis la deuxième moitié du XIX[e] siècle, un des buts de la médecine *scientifique* est la bataille contre les germes infectieux. Aujourd'hui, nous savons que les germes ont également une fonction positive. L'idée que la médecine doive combattre les infections vient d'être remplacée par une conception plus sophistiquée qui tient compte de la corrélation entre la diminution des maladies infectieuses et l'augmentation « des maladies auto-immunes et allergiques ». En bref, les infections pourraient avoir un « rôle non plus déclenchant mais protecteur » (p. 24).

À la fin de l'article, l'auteur retourne à la génétique qui, depuis quelques décennies, assume la fonction symbolique du *Saint Graal* de la médecine. Plus spécifiquement, il questionne la complexe interaction entre l'héritage génétique et le rôle joué par les mutations casuelles. Il nous semble que la réflexion qui conclut l'article, « l'instabilité génétique est-elle due au hasard ? », pourrait constituer un programme de recherche intéressant (pp. 24-25).

2. — Dans ce recueil d'articles, beaucoup de questions ont été soulevées sur les fondations de la médecine moderne en partant de la causalité. Dans son article *Les postulats de Koch*, Maxime Schwartz, Directeur général honoraire de l'Institut Pasteur et membre correspondant de l'Académie des sciences, s'occupe aussi des interprétations les plus récentes des virus et des bactéries comme causes des maladies. La question remonte aux débats entre l'école de Claude Bernard et celle de Louis Pasteur dans la deuxième moitié du XIX[e] siècle. Schwartz reconnait « l'importance de l'hôte dans la réponse à l'infection » et la multiplicité des causes de la « sensibilité différentielle aux maladies infectieuses ». Le moins que l'on puisse dire aujourd'hui c'est que les germes mi-

croscopiques apparaissent « comme une cause nécessaire, mais généralement pas suffisante » de la maladie (p. 33).

3. — Dans l'article *La recherche causale en épidémiologie*, Pierre-Yves Boëlle, professeur à l'Université Pierre-et-Marie Curie et praticien hospitalier à l'hôpital Saint-Antoine, et Alain-Jacques Valleron, professeur émérite à l'Université Pierre-et-Marie Curie et membre de l'Académie des sciences, se concentrent sur le sous-titre du colloque de 2016 qui est aussi celui du présent recueil d'articles : *Faut-il connaître les causes pour comprendre et intervenir ?*. Le sujet est la méthodologie de la recherche « des relations entre causes potentielles et effets » : l'analyse du probable lien causal entre le tabagisme et le cancer du poumon offre aux auteurs un exemple des problématiques qui naissent de la recherche d'une telle corrélation. Selon des travaux antérieurs, il semblait que « l'observation des séries temporelles ou géographiques » n'appuyait pas l'hypothèse que l'inhalation de la fumée du tabac causait le cancer. On avait aussi supposé l'existence d'une « causalité inverse » selon laquelle la prédisposition au cancer du poumon pourrait mener à fumer (pp. 38-39 et 44).

Après avoir sélectionné quelques études de cas parmi une vaste littérature consacrée aux études épidémiologiques et aux méthodes statistiques utilisées, les auteurs ne peuvent que se tenir à une conclusion très générale : dans la recherche des facteurs de risque, les mesures des risques « ne sont pas toujours faciles à interpréter causalement » et quelques corrélations entre facteur de risque et maladie ont récemment été réfutées (p. 46).

4. — Dans l'article *L'écologie face aux causalités multiples*, Henri Décamps, Directeur de recherche émérite au CNRS et membre de l'Académie des sciences, se confronte avec le risque (déjà mentionné par Berkeley) « d'utiliser une corrélation pour inférer une causalité ». Par exemple, des expériences conduites aux États-Unis en 1997 ont montré qu'un plus grand nombre d'espèces conduisait à une plus grande production de biomasse. On a discuté sur la possibilité d'un « *effet de sélection* » qui donnait aux espèces les plus productives « une plus grande chance de présence à plus haute diversité ». En 2010, on a constaté que « des relations fortement positives entre diversité et utilisation des ressources disponibles » peuvent seulement être déclenchées par une grande diversité d'espèces qui coexistent dans une grande diversité de niches écologiques (p. 59, 61 et 63). Ceci est seulement un exemple du lien problématique entre causes et effets. Si l'épidémiologie nous montre la nécessité d'identifier tous les facteurs de confusion « pour permettre l'estimation effective de l'effet d'intérêt », l'écologie nous montre la nécessité d'affronter « la question des causalités multiples ». De plus, la complexité intrinsèque de

l'écologie et sa nature intrinsèquement applicative nous oblige à reconsidérer le lien problématique entre la notion de causalité et celle de prédiction parce que ce lien « est essentiel en matière de gestion environnementale » (p. 52 et 65-66).

5. — Dans l'article *Pathologies comportementales et sociales : la question des origines*, un des éditeurs, Michel Le Moal, professeur émérite à l'Université de Bordeaux et membre de l'Académie des sciences, souligne que, dans le domaine des sciences de la vie, la recherche des causes présente deux orientations temporelles différentes : l'explication du passé et la prédiction du futur. C'est la théorie de Darwin qui, pour la première fois, a montré « l'indépendance de l'explication et de la prédiction car la prédiction est statistique » (p. 71). Néanmoins, dans les neurosciences, le paradigme dominant est physicaliste et réductionniste : en particulier, le fonctionnement du cerveau est expliqué par « ses composantes de base (neurones) » et la connaissance de l'esprit se fonde sur la connaissance du cerveau. Mais Le Moal mentionne la présence d'autres paradigmes, où la dépendance de la génétique de l'évolution et les interactions avec l'environnement entrent en jeu. La distinction qui avait été avancée par Ernst Mayr entre une biologie « fonctionnelle » et une biologie « évolutionniste » semble encore actuelle (p. 72)[2].

L'hégémonie de la « psychiatrie moléculaire », qui se fonde sur « le primat de la génétique moléculaire pour la recherche des causes », a été atténuée par l'intérêt pour « les interactions entre sujets et [pour celui] des sujets avec leur environnement ». Aujourd'hui, on sait qu'une cause importante du dysfonctionnement des structures familiales et sociales est la perte des capacités psychologiques d'autorégulation (pp. 76-77).

2. En 1961, dans un article pour la revue *Science*, Mayr s'était concentré sur « les difficultés spécifiques présentées par le concept classique de causalité en biologie » et, en particulier, sur trois aspects de la causalité, c'est-à-dire « l'explication, la prédiction et la téléologie ». La séparation entre une biologie fonctionnelle et une biologie évolutionniste provenait de la différence méthodologique entre l'étude d'« individus spécifiques, d'organes spécifiques et de cellules spécifiques » et l'étude du « background historique » du vivant. Il souligna la différence entre téléologie et téléonomie, ainsi que « l'indépendance entre explication et prédiction ». Il acceptait un certain taux d'indétermination dans les sciences de la vie, une indétermination qui ne signifiait pas « un manque de cause, mais simplement une imprévisibilité ». Plus généralement, l'étude du vivant demandait l'analyse de « rétroactions, de dispositifs homéostatiques et de chemins multiples » qui empêchaient une connaissance complète. De plus, la recherche d'une description complète d'un vivant comporterait sa destruction (Mayr, 1961).

Il me semble que l'auteur a réussi à expliquer une des caractéristiques principales de la modernité : il y a des maladies qui révèlent « les inadaptations de l'individu et de son héritage phylogénétique à un contexte social auquel il ne peut faire face ». Au cours de l'histoire de l'évolution humaine, le cerveau n'a pas eu le temps nécessaire « pour se conformer aux conditions de vie délétères de notre modernité ». La pratique médicale n'a pas le temps ni les instruments théoriques et empiriques pour s'occuper des interactions du sujet avec la complexité de son réseau relationnel et matériel. Généralement, elle se borne à des consultations de 15 minutes qui se concluent par des prescriptions concernant un organe « ou une partie d'un organe en raison de la fragmentation de la médecine » (p. 78).

Donc la maladie peut avoir des causes sociales et les conditions sociales ont des causes qui pourraient, elles-mêmes, être considérées comme les *vraies* causes ou « les causes des causes ». À son tour, les causes des causes ont une *cause* politique, où « tout ne se construit que dans le long terme ». La pratique médicale ne peut pas agir sur les premières causes : elle se borne à traiter la physiopathologie du symptôme, sans aucun effet sur « la cause du dérèglement physiopathologique » (pp. 79 et 83-84)[3].

6. — Dans l'article *Les mécanismes physiologiques du sommeil : la sérotonine et la suite*, Claude Debru, professeur émérite à l'École normale supérieure et membre de l'Académie des sciences, se demande « s'il est souhaitable de conserver un langage causaliste » dans un domaine où la complexité des interactions « est toujours plus manifeste ». Face au « défi de l'hypercomplexité », ce langage pourrait-il faire obstacle « à la perception et à la conception de la réalité ? » (p. 88).

Pour comprendre si la causalité est un outil conceptuel approprié pour la physiologie, il avance l'étude de cas de la sérotonine, une histoire qui commença en 1948 et qui avait pour sujet spécifique « l'hypothèse sérotoninergique du sommeil ». On avait observé que la suppression de la cause (la sérotonine) conduisait à la disparition de l'effet (le sommeil) et que la réintroduction de la

3. Dans la dernière ligne de l'article, il y a une référence au rapport publié par le journal *The Lancet* en collaboration avec la Commission sur la gouvernance globale de la santé de l'Université d'Oslo. Sous la direction de Ole Petter Ottersen, Recteur du Karolinska Institute, la Commission a déclaré que les grandes différences dans les conditions sanitaires concernent l'équité sociale « plutôt que la variabilité biologique ». Elle conclut son rapport par une déclaration synthétique de grande netteté : la santé est « la condition préalable, le résultat et l'indicateur d'une société viable » (Ottersen *et al.*, 2014, p. 630 et 661).

cause conduisait à la restauration de l'effet. Mais ensuite, on a découvert que la sérotonine n'est pas « une condition nécessaire du sommeil » ; que quelques dizaines de facteurs différents jouent un rôle important dans les états de sommeil, et que la sérotonine est impliquée dans les processus du sommeil comme dans ceux de l'éveil. Les relations causales sont cachées par la complexité des régulations qui impliquent une multiplicité de contrôles, d'activations, d'inhibitions et d'inhibitions d'inhibitions (pp. 88-89, 91-93 et 95).

7. — Dans l'article *L'autisme : quelles corrélations, quelles causes et quelles interventions ?*, Thomas Bourgeron, professeur à l'Université Paris-Diderot et membre de l'Académie des sciences, montre que la recherche de corrélations entre couples de phénomènes révèle des corrélations mathématiques positives qui ne peuvent correspondre à aucun lien causal. Dans le cas spécifique de l'autisme, l'auteur invite à remplacer la recherche d'une unique connexion causale par une confrontation entre les généticiens, les neurobiologistes et les psychologues, afin de mettre en communication des représentants de disciplines différentes et d'aborder le sujet en utilisant dans le même temps les séquences de l'ADN, les synapses et « l'intérieur des personnes » (pp. 98-99 et 103).

8. — Enfin, dans le dernier article, *Regard extérieur venu du côté des sciences dites dures*, Yves Pomeau, professeur à l'Université d'Arizona et membre correspondant de l'Académie des sciences, montre que le concept de causalité présente certainement des problèmes dans le domaine des sciences de la vie, à cause de la complexité des systèmes vivants, mais qu'il conduit également à des difficultés dans les fondements des sciences physiques. En effet, il semble que la causalité demande la présence d'un intervalle de temps entre la cause et l'effet. Plus spécifiquement, la connexion causale devrait apparaître seulement « s'il y a irréversibilité ». Que dire alors de la mécanique classique où les processus sont idéalisés comme parfaitement réversibles par rapport au temps tandis que ses lois mathématiques ont été considérées comme exemple de lois causales pendant des centaines d'années ? En outre, à l'équilibre thermodynamique, on ne peut pas mesurer le sens du temps et donc il serait impossible de retracer des liens causaux. De plus, le concept de cause peut se heurter à l'insensibilité de certains systèmes physiques aux conditions initiales. L'oubli des conditions initiales « et/ou la sensibilité aux perturbations des systèmes dynamiques chaotiques » présentent effectivement des obstacles à la détermination d'une corrélation causale « entre une perturbation donnée et la réponse mesurée » (pp. 106-107 et 109-110).

Le physicien conclut l'article en évoquant la possibilité que l'instabilité de certains systèmes dynamiques puisse offrir une analogie structurelle entre phé-

nomènes physiques et biologiques. À notre tour, nous pourrions conclure cette analyse critique en rappelant aux lecteurs que cette analogie structurelle avait déjà été envisagée, dans les années 1870, par un mathématicien français qui a contribué à la renommée de la *Société scientifique de Bruxelles*, à savoir Joseph Boussinesq (1878, pp. 113-129). Nous retrouvons ainsi les dernières décennies du XIXe siècle, quand ce mathématicien, sous l'influence d'Antoine Augustin Cournot et de Claude Bernard, avança l'hypothèse que les solutions singulières de certaines équations différentielles pouvaient offrir des structures mathématiques appropriées pour la description des caractères essentiels des êtres vivants.

Aujourd'hui, après cent-quarante ans, médecins et scientifiques essayent encore et toujours d'intégrer une mathématisation plus sophistiquée des sciences de la vie avec un concept plus sophistiqué de causalité.

Après cette liste de problèmes et de recherches spécifiques, un certain nombre de questions restent en suspens. Quelle est l'unité du livre, mise à part la collection d'interventions ? Y a-t-il une ou des thèses communes défendues dans ce livre ? Qu'apporte le livre à la réflexion sur la causalité ? Un premier thème unifiant est certainement la complexité, c'est-à-dire la complexité du vivant et donc la complexité des pratiques médicales. Cette complexité nous empêche de traiter les corps humains comme des machines, et nous montre l'inefficacité d'une pratique médicale réductionniste. Presque toutes les interventions soulignent la pluralité des causes et l'omniprésence des rétroactions. Par conséquent, la pratique médicale est plus complexe que quelconque théorie de causalité.

Plus spécifiquement, les sciences de la vie et les pratiques médicales mettent en évidence « la polysémie du vocabulaire causal » (p. 7), le rôle du hasard (p. 25), la multiplicité irréductible des causes (p. 57), la difficulté d'estimer exactement leur nombre et sélectionner les plus importantes (p. 52), la difficulté de mathématiser les processus causaux (p. 96), la difficulté d'intervention et, en particulier, l'impossibilité d'agir sur les causes les plus profondes (p. 84), l'utilité de connaître les modes de contagion d'une maladie plutôt que ses causes (p. 35),...

Les causes génétiques, épigénétiques et environnementales agissent sur un système de régulations et rétroactions que nous empêche de retracer univoquement une chaine linéaire de causes et d'effets. Bien qu'aucun auteur n'ait explicitement formulé une synthèse vraiment générale, nous concluons cette analyse critique avec la thèse aussi générale que radicale que le corps humain — son microbiome inclus — devrait être considéré comme un réseau de systèmes

écologiques complexes qui est intégré dans le réseau plus vaste de systèmes écologiques que nous nommons *Terre*. Les pratiques médicales devraient prêter attention à la complexité de ces corrélations.

Bibliographie

Bernard, Cl. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Baillière.

Bordoni, St. (2017). *When Historiography met Epistemology*. Leiden ; Boston : Brill.

Boussinesq, J. (1878). *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars.

Cournot, A. A. (1861). *Traité de l'enchaînement des idées fondamentales dans les sciences et dans l'histoire*. Paris : Hachette.

Mach, E. (1872). *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*. Prag : Calve.

Mayr, E. (1961). Cause and effect in biology : Kinds of causes, predictability, and teleology are viewed by a practicing biologist. *Science*, 134, 1501-1502 + 1504-1505.

Ottersen, O. P. (2014), et al. The political origins of health inequality : prospects for change, *The Lancet*, 383(9917), 630-667.

Analyse critique

Quand physique et métaphysique se trouvent confondues

Une remarquable introduction à la philosophie des sciences et à la philosophie de la nature véhiculant une étrange conception de la métaphysique

Bertrand Hespel
Université de Namur
Sciences, philosophies et sociétés & Esphin
bertrand.hespel@unamur.be

Esfeld (Michael), *Philosophie des sciences : une introduction*. – 3e édition entièrement revue. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017. – x, 296 p. – 1 vol. broché de 15 × 22,5 cm. – 23,22 €. – isbn 978-2-88915-221-6.

Ce livre n'a qu'une dizaine d'années mais une histoire déjà fort longue — et si tortueuse qu'il convient d'au moins la retracer sommairement sous peine d'induire en erreur ses futurs lecteurs. Publié une première fois en 2006, il a été réédité dès 2009 par ces mêmes Presses polytechniques et universitaires romandes, sous la même couverture et sous le même titre, mais avec quelques premières légères modifications. Trois ans plus tard, l'une des parties de cette deuxième édition a été considérablement transformée par l'auteur et publiée isolément, toujours par le même éditeur et avec une couverture similaire, mais sous le titre *Physique et métaphysique : une introduction à la philosophie de la nature*. Et cette fois, pour cette troisième édition, c'est la quasi-totalité du texte qui a été revu et l'ensemble réorganisé en deux parties plutôt qu'en trois : l'une, d'une grosse centaine de pages, effectivement consacrée à cette philosophie des

sciences que mentionne explicitement son titre et l'autre, de près de cent-cinquante, dédiée à cette philosophie de la nature à laquelle l'ouvrage de 2012 était exclusivement consacré, mais dont, curieusement, la couverture de celui-ci omet toujours de faire mention. S'il a conservé son titre, sa couverture et son format et si son épaisseur n'a quasiment pas varié, cet ouvrage a donc considérablement changé au cours de ses éditions successives : non seulement son organisation générale est désormais telle qu'il est permis d'y voir deux livres plutôt qu'un seul, mais son contenu est si largement différent des précédents qu'on pourrait presque parler d'un tout autre livre.

Nous ne préciserons pas ici les nombreux points en lesquels cette édition diffère sur le fond de la précédente et qui relèvent surtout de la philosophie de la nature, c'est-à-dire de la seconde partie. Un tel exercice serait assurément intéressant mais demanderait trop de place et, surtout, détournerait de l'essentiel. De fait, il serait très étonnant que ces modifications altèrent d'une quelconque façon l'attrait qu'exercera ce livre sur les amateurs de lectures philosophiques. Il relève en effet d'un genre décidément toujours aussi peu présent dans les rayons de nos librairies : celui des livres de philosophie ne traitant ni d'éthique, ni d'anthropologie, ni de philosophie sociale ou politique. Caractéristique qui l'y fera inévitablement remarquer et poussera bon nombre de curieux à l'ouvrir. Et ceux-là constateront que, bien plus encore que de philosophie des sciences et de philosophie de la nature, il y est en réalité question d'épistémologie et de métaphysique, disciplines philosophiques trop rarement rendues abordables pour manquer cette occasion de s'y voir enfin introduit, de surcroît par le biais d'une réflexion sur les sciences. Ce qui aura probablement pour effet d'encore accroître le nombre de lecteurs de ce qui était déjà un véritable succès de librairie.

Ce scénario nous paraît d'autant plus vraisemblable que la majorité de ses futurs lecteurs seront une fois encore des enseignants en charge d'un cours de philosophie des sciences ou de philosophie de la nature et leurs étudiants. Comme il demeure le seul livre disponible dans notre langue qui soit assez approfondi pour servir de support écrit à des cours universitaires portant sur ces deux disciplines et qu'aucun ouvrage en langue anglaise ne cumule par ailleurs suffisamment d'autres qualités pour le lui préférer, il paraît en effet peu probable qu'un professeur chargé de l'enseignement de l'une de ces deux disciplines dans une institution francophone hésite longtemps avant de le conseiller à ceux de ses étudiants qui voudraient disposer d'un tel support.

Les qualités de ce livre sont en effet nombreuses, et elles en font un manuel presque parfait. Une première est son format : il est suffisamment compact

pour ne pas impressionner les débutants et — conséquence non négligeable — pour leur être proposé à un prix raisonnable. Une deuxième est qu'en dépit de sa brièveté, ce livre contient une multitude d'informations, de surcroît présentées par l'un des chercheurs actuellement les plus actifs en philosophie de la physique, domaine dont il possède une connaissance quasi encyclopédique lui valant à bon droit d'y faire figure d'autorité. Mais les qualités principales de ce livre sont évidemment à chercher ailleurs : elles tiennent au choix des deux questions qui en commandent l'articulation et à la manière dont celles-ci s'y trouvent traitées. Il s'agit en effet de questions que ne peut sérieusement éviter d'aborder quiconque tente aujourd'hui d'éveiller des étudiants au questionnement philosophique, à savoir : peut-on rationnellement soutenir que les sciences de la nature nous révèlent quoi que ce soit de la constitution de leur objet et, dans l'affirmative, de quoi nous apprennent-elles que la nature est ainsi constituée ? Questions auxquelles l'auteur s'emploie de plus à répondre avec autant de patience que de rigueur : positivement à la première, après avoir examiné la quasi-totalité des arguments et objections qu'ont successivement avancés les philosophes du dernier siècle en faveur et à l'encontre de cette position connue sous le nom de *réalisme scientifique* ; puis, très précautionneusement à la seconde, en examinant de manière extrêmement serrée ce que paraissent ainsi nous dire les théories physiques contemporaines de cette réalité naturelle qu'elles dévoilent. De sorte que, si différentes que soient les réponses que son professeur estimera personnellement devoir apporter à ces deux questions, aucun étudiant qui choisirait de s'aider de ce livre pour en suivre les cours n'ignorera l'essentiel de ce qu'il faut dorénavant savoir en philosophie des sciences et de ce qu'il s'agit de prendre en considération dès lors qu'on souhaite élaborer une philosophie de la nature. Enfin — et tout enseignant y verra deux autres qualités importantes —, les vingt-quatre chapitres dont ce livre est composé sont invariablement d'une dizaine de pages, c'est-à-dire d'une longueur telle qu'on puisse encore en espérer une lecture attentive par n'importe quel étudiant, et ils sont en outre organisés de manière à l'aider à s'approprier les multiples concepts et sous-questions qui s'y trouvent abordés. Chacun s'ouvre en effet par un bref énoncé des *buts* qu'y poursuit l'auteur et se ferme, après présentation d'un *résumé* des notions et des arguments qui y ont été introduits, sur des *suggestions de lecture* permettant d'en approfondir la compréhension, des *questions de contrôle* destinées à s'assurer que les unes et les autres ont été correctement saisis et sur des *propositions de travail* à l'intention des étudiants les plus intéressés ; lesquels trouveront encore en fin de volume une impressionnante bibliographie (mise à jour) ainsi qu'un glossaire d'une dizaine de pages accompagné d'un index très détaillé.

Mais s'il possède de nombreuses qualités, ce livre n'est évidemment pas sans défaut. Il en présente même plusieurs, dont tous ne sont malheureusement pas bénins. L'un de ceux-ci était presque inévitable, puisqu'il est en quelque sorte l'avers de l'une des qualités que nous avons mentionnées, à savoir sa brièveté. Car — pour autant que puissions nous fier à notre propre expérience d'enseignant — ce livre est en réalité bien trop bref pour suffire à introduire à la philosophie des sciences quelqu'un qui n'en saurait encore rien. Les exposés y sont en effet à ce point condensés, portent sur des questions tellement variées et se succèdent à un rythme si soutenu qu'un lecteur dont ce serait le premier contact avec ce domaine de la philosophie en abandonnera presque inévitablement la lecture après quelques dizaines de pages et, s'il est étudiant et s'est procuré ce livre dans l'espoir qu'en étudier le contenu lui permettrait de réussir aisément le test de fin d'année portant sur cette matière, il s'en retournera probablement bien vite en auditoire afin d'y entendre son professeur expliquer, sinon tout, au moins une partie de ce qu'il y aura lu. Et il en ira assurément de même si cet étudiant ou ce lecteur curieux espère s'y trouver initié à la philosophie de la nature plutôt qu'à celle des sciences, car il faudra alors qu'il ait aussi préalablement étudié la physique ou, à défaut, qu'il puisse compter sur l'aide d'un physicien pour parvenir à suivre les multiples arguments présentés dans la seconde partie. Bien entendu, ce défaut n'a rien de rédhibitoire, mais il convient de le souligner : comme le reconnaît d'ailleurs l'auteur lui-même dans son avant-propos, il s'agit davantage de notes de cours, nécessitant donc souvent d'être commentées, que d'un livre se suffisant à lui-même. De même, il faut prévenir tout lecteur potentiel de ce que cette nouvelle édition n'est toujours pas aussi soignée qu'on pouvait l'espérer — surtout d'une troisième. Car, si le style de l'auteur s'est incontestablement amélioré et ne gêne plus la lecture comme c'était parfois le cas dans les précédentes, il y est encore malheureusement fait usage de certaines expressions et traductions pour le moins inhabituelles dont la répétition devient vite agaçante (« de prime abord » presque systématiquement préféré à « tout d'abord », « collapsus » invariablement substitué à « collapse » quand il s'agit de désigner l'effondrement de la fonction d'onde, « équation de guide » plutôt que « de guidage », etc.). S'ajoutent à ces maladresses bon nombre de coquilles, dont certaines quelque peu perturbantes (celle de cette première entrée du glossaire, par exemple : « Action à distance : principe selon lequel les interactions physiques se propagent à travers l'espace vite », p. 281). Par ailleurs, cette nouvelle édition demeure étrangement émaillée d'imprécisions (ainsi — pour ne reprendre que l'exemple précédent — celle consistant à laisser entendre que l'action à distance relèverait de la catégorie des « principes » et celle, plus grave, présentant toute action de ce genre comme une in-

teraction physique se propageant forcément dans le vide alors que — comme chacun sait — cet exemple paradigmatique d'une telle action qu'est la gravitation newtonienne s'exerce non seulement instantanément entre deux corps de masses non nulles quelconques quelle que soit la distance qui les sépare, mais aussi quelle que soit la quantité de matière intercalée entre elles). Enfin, on trouve encore dans cette dernière édition quelques erreurs techniques d'autant plus difficilement acceptables qu'elles étaient évidentes, et donc parfaitement évitables (comme celle introduite dans la formule du guidage de la théorie de Bohm par le commentaire qui l'accompagne et précise — de manière incompréhensible — que le *I*, apparaissant malencontreusement en lieu et place de *Im* dans cette formule, « est le nombre imaginaire [*i*] », p. 225). Mais il est fort probable que, pour déplaisants et regrettables qu'ils soient, ces différents défauts seront tenus par la majorité des lecteurs pour de simples imperfections. Celles et ceux qui se seront procuré ce livre dans le but de découvrir la philosophie des sciences et la philosophie de la nature les jugeront en effet parfaitement insignifiants au regard de l'utilité qu'ils y trouveront. Et cela fort légitimement, puisque — répétons-le — c'est la seule introduction à ces deux disciplines présentant autant de qualités.

Cependant, l'appréciation générale des lecteurs qui connaissent déjà ces disciplines sera presque certainement beaucoup plus mitigée, voire franchement négative s'ils sont philosophes et même très probablement désastreuse s'ils sont en outre métaphysiciens. Ainsi les philosophes des sciences regretteront-ils tout particulièrement que le champ des sciences qui s'y trouvent considérées se réduise quasiment à la seule physique ; ce que l'un de nos collègues déplorait déjà dans son compte-rendu de la deuxième édition (*RQS* 181(4)). Et s'ils partagent l'intérêt de l'auteur pour la physique, sans doute s'étonneront-ils en outre de l'importance qu'accorde celui-ci à la théorie de Bohm lorsqu'il s'agit de préciser en réaliste ce que cette science de la matière inanimée nous dit de la nature. Plus généralement, les philosophes ne manqueront pas d'éprouver un certain malaise à la lecture de ce livre, et cela quelle que soit leur spécialité. Quoique, dans ce manuel, l'auteur n'ait pas pour objectif de convaincre de la validité de ses propres thèses, on ne peut en effet s'empêcher de les y deviner. Car on imagine mal qu'un chercheur aussi actif se soit laissé guider par d'autres thèses que les siennes pour en choisir l'organisation et le contenu et apporter les réponses qu'il suggère aux deux questions fondamentales qu'il y aborde. Or, pour beaucoup sans doute, la déception éprouvée à la lecture de la réponse qui s'y trouve patiemment apportée à la seconde de ces questions sera à la mesure de l'espoir suscité par la conclusion de l'argumentation préalablement mise en place pour répondre affirmativement à la première, c'est-à-dire énorme. Au

point que — comme nous — ces lecteurs en viendront peut-être à se demander s'ils ont bien compris, puisqu'il semblerait que la thèse de l'auteur soit au final ni plus ni moins que celle-ci (pp. 252-254) : la science nous apprend que la nature est constituée de *particules*, et (de) cela seulement ; ce qui — on en conviendra — constitue une bien piètre révélation au regard de l'effort fourni pour y parvenir, et serait, à entendre l'auteur, une leçon beaucoup plus désolante encore qu'on pourrait le penser puisque, à l'en croire, la science resterait muette quant à la nature de ces entités constitutives, toutes les propriétés qu'on serait spontanément porté à leur attribuer (masse, charge, ...) devant selon lui se voir définitivement reléguées dans ce qu'il appelle la *structure dynamique* de la théorie et, par là même, exclues de l'ontologie (pp. 143-145).

Cette conclusion déroutera d'autant plus les philosophes qu'ils ne manqueront pas de remarquer qu'elle repose toute entière sur une conception aussi étrange qu'inacceptable de cette discipline philosophique qu'est la métaphysique : une conception naturalisée (pp. 117-120) — et donc bien dans l'esprit de notre époque peu portée à accorder l'être à ce qui n'est pas phénomène — et à laquelle souscrivent peut-être quelques rares philosophes aujourd'hui, mais qui est tellement étriquée que la plupart se refuseraient même tout simplement à la considérer. Pour tout dire : nous craignons qu'un métaphysicien qui lira ce que dit l'auteur de sa discipline dans le treizième chapitre de ce livre doive faire un gros effort pour ne pas le refermer définitivement tant la conception qu'il y découvrira de *la science de l'être en tant qu'être* lui paraîtra erronée, et criante la méconnaissance de son histoire. Bien qu'il s'en défende, l'auteur semble en effet confondre physique et métaphysique. Ainsi n'hésite-t-il pas à écrire (p. 118) :

> « Pour Aristote, la métaphysique ne porte pas sur des objets dont on suppose qu'ils existeraient au-delà de la nature — autrement dit, il ne faut pas confondre la métaphysique et la théologie ».

Et deux pages plus loin (p. 120) :

> « La physique et la métaphysique cherchent toutes deux, dans un commun effort, à formuler une réponse aux questions suivantes :
>
> 1. Qu'est-ce que la matière ? Qu'est-ce que l'espace et le temps ?
>
> 2. Quelles sont les lois de la nature ?
>
> 3. Comment la matière dans l'espace et le temps, dans la mesure où elle est soumise à certaines lois, explique-t-elle les phénomènes observables ? »

Or il s'agit là d'affirmations pour le moins discutables et de celles, en tout cas, auxquelles n'auraient certainement pas souscrit Descartes, Leibniz et Spinoza — trois de ces philosophes tout à la fois physiciens et métaphysiciens que l'auteur cite pourtant en exemple lorsqu'il plaide pour le rétablissement de cette « continuité entre les sciences et la philosophie » (p. 119) dont il déplore à raison l'effacement au cours des derniers siècles.

Si regrettable qu'elle nous paraisse, cette erreur ne nous empêchera cependant pas de continuer à recommander ce livre à tous nos étudiants, comme nous le faisons depuis 2006. Malgré quelques autres défauts, ses nombreuses qualités que nous avons également détaillées nous pousseraient même à en conseiller la lecture à toutes les personnes intéressées par les questions épistémologiques et métaphysiques que soulève ou renouvelle la science — non sans avertir les plus métaphysiciennes qu'elles y liront surtout une preuve de ce que le gouffre qui s'est creusé entre la science et la métaphysique est bien plus large encore qu'elles ne le pensaient.

Dans notre prochain numéro

LE SOLEIL À LA RENAISSANCE ET À L'ÂGE CLASSIQUE

FRANÇOIS ROUDAUT & JEAN-FRANÇOIS STOFFEL
Présentation

MICHEL BLAY
Soleil de Copernic et soleil de Galilée

ÉDOUARD MEHL
Le Soleil au cinquième concile du Latran (1512-1516) :
Copernic et la réforme du calendrier julien

JEAN-FRANÇOIS STOFFEL
« Qui choisirait de poser ce flambeau dans un lieu autre ou meilleur
que celui d'où il peut illuminer le tout simultanément ? » :
examen de la pertinence d'un argument copernicien de convenance

FRANÇOIS ROUDAUT
Le Soleil chez quelques lexicographes et vulgarisateurs

JEAN CÉARD
Le Soleil selon les physiciens de la Renaissance

DANIEL MÉNAGER
Le soleil dans les fêtes de cour sous les derniers Valois

JEAN SEIDENGART
La parenté du Soleil et des étoiles fixes dans la cosmologie
de Giordano Bruno

DANIEL ŠPELDA
Les soleils et leurs observateurs au XVIIe siècle

VIVIANE MELLINGHOFF-BOURGERIE
Connivences héliologiques entre théologie et astronomie
chez François de Sales et Bérulle : le cas du barnabite Redento Baranzano

TOMÁŠ NEJESCHLEBA
De la métaphysique de la lumière à l'héliocentrisme :
la vision du Soleil selon Valérien Magni

Comptes rendus

Histoire des sciences

Biémont (Émile), *L'arc-en-ciel : mythes, art, science et histoire* / préface d'Hervé Hasquin. – Bruxelles : Académie royale de Belgique, 2017. – 164 p. – (Mémoire de la Classe des sciences ; collection in-8°, 4e série, tome 8, n°2115). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 15,00. – isbn 978-2-8031-0575-5.

Raynaud (Dominique), *Sociologie des controverses scientifiques*. – Nouvelle édition revue et augmentée / préface de Mario Bunge. – Paris : Éditions Matériologiques, 2018. – 426 p. – (Sciences & philosophie). – 1 vol. broché de 24 × 16,5 cm . – 27,00 €. – isbn 978-2-37361-135-9.

Si je me permets de rassembler dans un même compte-rendu les deux ouvrages ci-dessus mentionnés, c'est essentiellement parce qu'ils sont de fait tous les deux extérieurs… à l'histoire des sciences. Je dois m'expliquer. Et d'ailleurs tous les deux ne donnent au mot « histoire » que le sens aristotélicien d'un accident, d'un cas, d'un passage, même si les deux auteurs ont des explications différentes. Pour Dominique Raynaud, le ou plutôt les cas étudiés avec érudition, servent à démolir des thèses de sociologie des sciences non sans alacrité dans le choix des citations ; pour Émile Biémont, il s'agit avec un certain sens de l'exhaustivité et une riche et belle iconographie, de parcourir différents chemins de « ce photométéore tel que nous le percevons depuis le XXIe siècle ». C'est cependant au nom d'une pratique de l'histoire des sciences que je me permets de rendre compte des deux textes, car j'espère ainsi faire valoir leur intérêt, faire ressortir ce que la lecture de ces deux ouvrages peut susciter comme réflexion chez un lecteur que je présuppose à la fois intelligent, curieux, mais ne connaissant pas la filiation des débats que ces deux livres comportent. Pour l'inciter à lire, je m'adresse à un lecteur abstrait. Il ignore les enjeux d'une étude sociologique du phénomène scientifique pris du point de vue des controverses, les « *science studies* » comme on dit par étrange omission et pour faire disparaître et le mot « histoire » et le mot « sociologie ». Il ignore la variété des phénomènes, y compris culturels et de civilisation que suscite la description de l'arc-en-ciel dont la photographie, et aussi bien les peintures anciennes, révèlent la matérialité de la représentation. Mais bien sûr il faut mettre un pluriel à ce dernier mot. Ce n'est pas un détail !

M'adresser à l'une ou l'autre des spécialités en jeu ne serait, je crois, d'aucun bénéfice pour un lecteur de la *Revue des Questions Scientifiques*. Alors que justement les deux livres puisent abondamment dans les sources professionnelles en histoire des sciences, tout en n'en faisant pas comme je l'ai affirmé d'emblée. Les controverses scientifiques aussi bien que l'arc-en-ciel sont des réalités que l'on peut objectiver, documenter dans le passé autant que dans le présent et, semblent penser les deux auteurs ici réunis, l'histoire ne fait que passer. La meilleure preuve que ce point de vue est partagé, celle du bon sens si ironiquement cher à Descartes, est qu'aucun des lecteurs de la présente revue n'a douté un instant de la nature des deux sujets concernés. Même s'il peut douter de la pertinence de les relier. Pourtant l'inscription de cette réalité dans un récit, et cela vaut aussi bien pour cette autre réalité que sont les controverses scientifiques, a pour but de forcer l'idée qu'il y a un même objet au fond inchangé.

Le plus simple pour justifier la liaison faite entre les deux ouvrages serait de dire que l'arc-en-ciel a souvent été le cas de controverses, par exemple entre Descartes et Aristote, plus encore entre Newton et Descartes, mais aussi bien entre des poètes romantiques sensibles aux couleurs et la mathématisation qu'ils disent imposer à la nature par la loi des sinus de Descartes-Snel, voire les débats sur le choix de sept couleurs par Newton qui en ferait aussi un alchimiste cherchant en catimini à faire passer de l'occulte dans la science positive. Faut-il donc penser que le désenchantement de la nature par les mathématiques doive aussi faire partie du sujet scientifique de l'arc-en-ciel ? À plusieurs titres, cet arc aurait donc pu faire l'objet d'une étude de cas chez Dominique Raynaud, par exemple lorsqu'il traite de la perspective au XVIIe siècle. La représentation du circulaire dans l'arc — une courbe plane — pose le problème de sa représentation sur la surface non moins plane d'un tableau. Descartes en 1637 donnait avec force une représentation elliptique particulièrement allongée, en tout cas n'ayant aucunement l'aspect d'un arc circulaire : ce n'est effectivement pas l'arc qu'il dessine, mais sa représentation pour celui qui lit le dessin de ce que le spectateur de l'arc est censé objectivement voir (cf. fig. 34 de l'ouvrage de Biémont). Descartes donne à voir sa façon d'objectiver. Pourquoi l'historien serait-il dispensé de le faire ? La question de la perspective est évitée par Biémont, qui présente par exemple une image d'un arc-en-ciel dite en « demi cercle » sur l'horizon représenté par une rivière bien canalisée, mais les tangentes aux deux extrémités ne sont pas verticales ! (fig. 49 de l'ouvrage). Sans avoir besoin d'être physicien, chacun sait qu'un demi-camembert est une moitié, pas moins. Comme la photographie ne peut pas montrer autre chose que ce qu'elle est, une figuration plane, la formation de Biémont ne correspond pas à la photographie ; elle est un virtuel imaginé à partir d'une conception purement angulaire de l'arc, et il faudrait alors dire quand celle-ci fit consensus. Comment oublier la légende selon laquelle il y aurait une source, ou un trésor, aux deux « pieds » de l'arc, si ceux-ci n'existent que pour l'observateur en position, donc ne correspondent à aucune réalité !

Heureusement, et contrairement à ce qu'on pouvait attendre au nom du bon sens dont j'ai parlé plus tôt, chacun des deux auteurs prend un assez long temps pour la définition même de l'objet propre de chaque enquête. Pour Raynaud, par l'introduction qui n'est pas voulue comme un chapitre, il s'agit d'éliminer du champ d'étude des controverses scientifiques les points qui concernent la priorité, le brevet sur une technique, le caractère privé et non public d'échanges entre scientifiques, etc. Pour Biémont, même principe, au chapitre

2 l'arc-en-ciel est défini commun phénomène de direction extrémale de la lumière dans des gouttes d'eau, dont la représentation est forcément en arc circulaire avec le jeu de réfraction et au moins une réflexion interne dans une goutte, bref avec le phénomène de couleur et l'inversion des couleurs de l'arc primaire à l'arc secondaire. Dans les deux cas donc, c'est à un état donné de la vie scientifique que les choses sont prises : au XVII[e] siècle avec Newton pour l'arc, le même XVII[e] siècle pour les controverses, car comment avant les académies des sciences, pourrait-on parler de débat public, qui est le critère retenu pour parler de controverse ? C'est donc un état de la perception humaine des deux « réalités » traitées. Nos deux auteurs par moi associés ne s'en tiennent bien sûr pas à ce choix de datation fondatrice d'une analyse : ils envisagent tous les deux un avant. Biémont parle de « préhistoire », mais aussi de premières « contributions significatives », avant Descartes donc ; Raynaud consacre trois de ses neuf chapitres à des périodes antérieures aux Académies des sciences (médiéval arabe et chrétien, puis la Renaissance). Il faut préciser ici que Raynaud a ajouté quatre nouveaux chapitres, dont celui sur la controverse dans le monde arabe, à un livre du même titre sorti en 2003. Les deux auteurs, de même, traitent du contemporain. Pour l'arc-en-ciel avec un peu de mécanique quantique, mais aussi avec des simulations numériques selon divers phénomènes faisant disparaître la jolie simplicité du XVII[e] siècle ; pour les controverses avec le sujet même du compte-rendu de science et le débat entre « relativistes » et « rationalistes », dans ce qui est daté comme les « *science wars* » (1994-2006).

Bref, les deux auteurs jouent avec une connaissance qui n'est pas définitivement figée, qui n'est donc pas morte, et se dégagent tous les deux d'un certain sens du positivisme, quand il atteint le stade dogmatique de l'enseignement. Pour Biémont le contemporain fignole à partir de sources scientifiques diverses, autour du phénomène majeur, l'idée mère donc, de Descartes-Newton qui est sa base. Pour Raynaud, le contemporain sert à mieux faire valoir la thèse épistémologique d'une même recherche de la vérité dans l'acte scientifique, en particulier dans la dispute qui est dite spécifique, à l'encontre de positions sur la pratique de science qui fait de ces disputes des actes sociaux tout à fait analogues à tous les autres. Mais nos deux auteurs n'en fixent pas moins quelque chose d'immuable pour chacun de leurs objets respectifs d'étude : c'est pour cela que je les ai dits hors de l'histoire des sciences.

Certes chacun des deux auteurs a ses façons propres, et donc heureusement discutables, de rendre compte de son sujet : pour l'arc-en-ciel, l'aspect esthétique n'est pas traité au sein de la science, mais par le biais du mythe, de la poésie, et de la peinture. Donc par une séparation assez radicale entre la représentation et l'explication scientifique du phénomène, sans chercher à voir ce que la pratique scientifique a aussi engendré comme perception de type esthétique. Ainsi, alors que l'idée même d'un extremum suscite une démonstration mathématique quasi immédiate de l'angle sous lequel peut être perçu le phénomène de l'arc-en-ciel, par une esthétique justement de la simplification, l'auteur parle de calcul long et pénible dont il peut se passer. Pour les controverses scientifiques, l'objectif étant de rendre caduques, ou logiquement ineptes, bien des démarches des « *science studies* », en vue d'une défense de l'adéquation de la démarche scientifique à la vérité, il n'est pas cherché à montrer ce que ces études, même les plus dogmatiques, ont pu apporter à notre connaissance de ce qu'est la présence scientifique dans les différentes sociétés, et plus encore son évolution, et le sens modifié de ce qu'est l'objectivité.

Les deux auteurs ne trichent pourtant pas : tous les deux ont clairement dit leurs objectifs. Et tous les deux donnent une bibliographie, avec un surcroit considérable chez Raynaud qui traite de très nombreux cas comme il a été indiqué.

Il m'est d'autant plus facile de terminer ma « critique », au sens d'un parcours commenté, que je peux constater la mise entre parenthèses de l'histoire des sciences en tant que telle, ou sa présentation comme simple toile de fond, puisqu'il y a presque totale absence de citations effectives des auteurs scientifiques. Certes les poètes et les peintres sont directement cités chez Biémont, et les sociologues chez Raynaud ; mais les paroles des scientifiques sont largement absentes, ou présentées dans un contexte qui ne permet pas à un lecteur non spécialiste de les lire avec profit, et en situation. Ainsi Raynaud cite-t-il le théorème de Desargues sur les deux triangles en perspective conique, mais il n'est pas dit qu'une disposition plane peut également être lue comme une disposition dans l'espace, et on ne saurait donc comprendre comment ce théorème a induit un changement de conception de la géométrie elle-même en tant que science. On peut certes le voir grâce à la figure donnée par un excellent historien de l'art actuel (fig. 6, p. 250 de l'ouvrage de Raynaud), qui lui a explicité les choses, mais non par le seul texte de Raynaud, même quand il donne une image due au graveur Abraham Bosse qui s'était chargé de diffuser la pensée de Desargues et eut maille à partir avec ses « collègues » de l'Académie des beaux-arts, étant accusé de manie mathématique. Certes je comprends, et l'ai dit, que Raynaud cherche à montrer la dispute, et à juste exhiber le jeu démonstratif qui utilise la preuve géométrique à la manière d'Euclide, mais sans le faire vivre. S'il suggère bien que quelque chose de neuf se mettait en place avec le projectif dans un enjeu à la fois de pratique et de théorie, il oublie les phrases scientifiques des acteurs. De la même façon, Biémont oublie les phrases de Descartes sur l'extremum « calculé », alors que Descartes n'avait pas le calcul différentiel. Le mot « calculé » doit interroger, car précisément le calcul n'est pas un concept historiquement stable, qui permettrait de faire entrer le calcul différentiel dans un cadre d'éternité.

Le préjugé, scientiste dans les deux cas, est encore qu'une image, celle de l'arc-en-ciel de Descartes chez Biémont ou celle de Desargues chez Raynaud, posséderait une valeur objective pour toujours. Et serait reçue *ipso facto* par les contemporains. On sait par exemple que Spinoza lisant Descartes sur l'arc-en-ciel, n'a pas pu reproduire le calcul de l'extremum.

Cela ne saurait diminuer l'intérêt des deux ouvrages, et d'ailleurs mon reproche d'un oubli de citations précises n'est pas toujours recevable dans l'ouvrage de Raynaud, par exemple lorsqu'il prend l'exemple de la voûte de l'église de Bédouin. Ces deux ouvrages permettent en tout cas de comprendre combien l'étude analytique, aussi bien d'un thème scientifique particulier que d'attitudes de scientifiques dans le cadre de polémiques, peut susciter comme récits qui, par force, ne sont que des visions partielles. Cette inévitable partialité peut être rendue visible autrement que par des précautions oratoires et c'est là que l'histoire des sciences, qui est aussi fondamentalement une histoire des textes et des images, joue son rôle en n'aplatissant pas les choses par des jugements, mais en faisant vivre des idées dans un contexte qu'il s'agit d'expliquer et de situer. On ne dira jamais assez combien est indispensable à cet effet la publication critique des œuvres complètes des scientifiques du passé. Je remarque, et regrette, qu'aucun tel recueil ne soit utilisé par Biémont, ni par Raynaud dans la longue bibliographie, sauf erreur de repérage. Certes les deux auteurs

ici réunis citent des livres originaux de scientifiques. Mais justement ils écartent de leurs études les éléments fournis par les historiens de sciences dans les éditions complètes. C'est quand même dommage !

Jean Dhombres
Centre national de la recherche scientifique
& École des hautes études en sciences sociales

Graney (Christopher M.), *Mathematical disquisitions : The booklet of theses immortalized by Galileo*. – Notre Dame : University of Notre Dame Press, 2017. – xxix, 145 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – $ 25.00. – isbn 978-0-268-10242-5.

Mais qui donc est ce Johann Georg Locher dont le seul titre de noblesse semble être le fait d'avoir été pris pour cible par Galilée ? N'est-ce pas un peu mince que de donner la réplique sous le nom de Simplicio à Salviati lors des *Dialogues* ? Pourquoi Christopher M. Graney publie-t-il aujourd'hui la traduction anglaise de cette thèse dirigée par l'astronome jésuite C. Scheiner (1573-1650) en l'an de grâce 1614 ? Au lecteur de le découvrir.

Il convient d'ajouter que l'introduction et les notes, elles aussi dues au traducteur, sont remarquables.

Pour sa part, Locher sait à quoi s'en tenir. Il publie, dit-il, ces propositions « mathématiques concernant des nouveautés célestes », car elles « considèrent des choses d'une rareté fascinante » (p. 4). Dès le début, s'appuyant sur les écrits du « grand théologien Antonio Possevino » (1533-1611), il souligne la place de choix des mathématiques. À la fin de la préface, il fait appel à Clavius (1538-1612), professeur du Collège Romain, pour soutenir ses propos. Ces références aux savants jésuites indiquent que Locher s'inscrit dans une lignée scientifique fort importante au XVIIe siècle.

Voici quelques échantillons où l'on perçoit l'esprit perçant de cet anticopernicien convaincu, mais subtil. Locher propose une « machine à mouvement perpétuel », conçue en bonne et due forme. Moyennant cet appareil, il montre que le mouvement perpétuel circulaire est possible et, partant, on « imagine » comment la Terre pourrait se mouvoir autour du centre de l'Univers. Mais ce mouvement n'existe pas, puisqu'on ne dispose d'aucune observation qui puisse en rendre compte. En conséquence, les Coperniciens ne peuvent en tirer aucun profit et restent sur leur faim.

À propos de la structure de l'Univers, les arguments de Locher méritent d'être suivis avec soin. Il rappelle que la plupart des anciens mathématiciens et philosophes croyaient en un univers infini qui contenait un nombre infini d'univers finis, dont le nôtre, issus d'un ensemble infini et chaotique d'atomes. Notre univers, né du chaos, y retournera un jour. Locher ajoute : « Mais la philosophie chrétienne a anéanti cette conception comme nous allons le démontrer » (p. 17) et, à point nommé, il introduit le problème de l'infini mathématique et s'y engage de plein pied. Voici son analyse de l'infini actuel. Soit un ensemble (*multitudo*) infini d'éléments disposés deux à deux. Ces paires sont en nombre infini ou en nombre fini. Dans ce dernier cas, les éléments qui les forment sont en nombre fini. Si les paires sont infinies, elles peuvent, à leur tour, former des groupes de quatre éléments dont le

nombre peut être infini ou fini. Et ainsi de suite. Un ensemble infini se divise en un nombre infini de sous-ensembles de deux, quatre, etc., éléments. Deux cas se présentent : 1°) tous les infinis sont égaux — l'infini des paires est égal à l'infini des sous-ensembles de quatre éléments etc. —, ce qui est impossible ; 2°) les infinis sont différents. Or, dans ce cas, on peut soustraire un infini d'un autre infini et il en résulte un troisième infini, ce qui est contraire au concept d'infini. Locher en déduit que l'infini actuel n'existe pas. Dans ses *Discorsi e dimostrazioni matematiche* (Bologna, MDCLV, p. 25), Galilée écrit : « Les entiers naturels ne sont-ils manifestement pas plus nombreux que les nombres carrés, d'autant que ces derniers se rencontrent de plus en plus rarement à mesure qu'on avance dans les suites des premiers ? Pourtant à tout nombre carré correspond un entier qui est sa racine, de telle manière que l'ensemble de ces racines des nombres carrés se confond avec l'ensemble des entiers lui-même ; si l'on applique à ces ensembles infinis les règles du discours ordinaire, ne sera-t-on pas amené à cette conclusion absurde que l'ensemble des entiers est numériquement supérieur à lui-même ? ». En attendant Cantor et Dedekind, Locher et Galilée sont logés à la même enseigne.

Les *Disquisitions* témoignent d'une belle dextérité conceptuelle et d'une connaissance souple et précise des mathématiques et de l'astronomie de l'époque. Par ailleurs, cet ouvrage montre que souvent les erreurs scientifiques sont « fondées en raison ». Selon l'expression convenue, cette traduction tire de l'oubli Johann Georg Locher dont le nom, hélas, n'apparaît pas sur la couverture du livre. Ce qui est regrettable. On ne saurait trop revenir sur le sens de cette petite phrase attribuée à Aby Warburg : « Dieu est dans les détails ».

Godofredo Iommi Amunátegui
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Sciences et religions

Cantemir (Démètre), *L'image infigurable de la science sacro-sainte* / ouvrage publié sous la direction de Vlad Alexandrescu ; édition critique de Dan Slușanschi et Liviu Stroia ; traduction, introduction, glossaire, notes, index et bibliographie de Vlad Alexandrescu. – Paris : Honoré Champion éditeur, 2016. – 748 p. – (Sources classiques ; 122). – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 110,00 €. – isbn 978-2-7453-2957-8.

Entreprendre la lecture de la *Sacro-sanctae scientiae indepingibilis imago*, cet écrit rédigé par le jeune Démètre Cantemir (1675-1723) et resté à l'état de manuscrit autographe prêt à l'impression, c'est entamer un voyage bien surprenant… et qui ne manqua d'ailleurs pas de susciter la stupeur lors de sa découverte, en pleine période positiviste, en 1878. En effet, c'est découvrir un texte qui, bien qu'il date du siècle des Lumières, se propose d'élaborer, principalement sur la base de l'œuvre de Jean-Baptiste van Helmont (1579-1644), une « physique chrétienne », globalement fidèle à l'enseignement mosaïque et donc anti-aristotélicienne, en s'offrant le luxe de ne jamais tenir compte des découvertes de la science moderne et, encore moins, de les mentionner ou de les discuter ! Et cependant, on ne peut dénier à cet écrit toute valeur philosophique ni contester à son auteur le fait d'être un grand érudit !

Alors que les philosophes de la nature préféreront sans doute le quatrième livre consacré à la question du temps et dans lequel l'auteur lance sa diatribe la plus féroce contre Aristote, nous nous limiterons principalement, pour notre part, à une évocation du deuxième livre (en l'occurrence un Hexaéméron, soit une explication des six jours de la Création), dans la mesure où il est le plus à même de retenir l'attention des historiens des sciences et, en particulier, de la cosmologie. Dans le cadre d'une vision du monde implicitement géocentrique et explicitement anthropofinaliste, l'auteur s'y prend continuellement au Stagirite. Ainsi, s'il maintient l'existence d'une dichotomie entre monde sublunaire et monde supralunaire et s'il s'attache à la fonder sur une différence matérielle, il réfute la théorie aristotélicienne des quatre éléments dès lors que le texte de la Genèse ne fait aucune mention de la création du feu, pas plus, d'ailleurs, que celle de l'éther. Par conséquent, le monde sublunaire n'est composé que d'eau (et de terre, puisque celle-ci provient elle-même de l'eau), quand le monde céleste est composé exclusivement d'air. Prenons garde, toutefois, que si les astres sont bel et bien incorruptibles, ils ne sont pas éternels, pas plus que la matière première d'ailleurs. Quant à la lumière et à la chaleur qui l'accompagne, créées avant le Soleil conformément au texte biblique, l'astre du jour est le seul à en disposer : les étoiles ne font que refléter sa lumière et nos feux terrestres en sont, eux aussi, issus. Outre sa critique des catégories aristotéliciennes que sont la matière, la forme et la privation, d'autres exemples scientifiques de cette opposition continuelle au Stagirite peuvent être signalés : son rejet de la doctrine des exhalaisons pour rendre compte des phénomènes atmosphériques ; son refus de l'explication de l'arc-en-ciel qui, pour lui, est un phénomène, apparu pour la première fois *après* le déluge, ayant certes une cause naturelle, mais qui est en lui-même surnaturel ; ou bien, au contraire, son acceptation de l'existence du vide dans la nature afin de rendre possible le mouvement. On le voit : rien qui ne corresponde à l'image que l'on se fait d'un écrit rédigé, au siècle des Lumières, par une personne d'envergure. Mais ne l'oublions pas : ce n'est pas — ou du moins, pas seulement — à l'aune de ces affirmations scientifiques ponctuelles qu'il convient d'évaluer le texte du prince moldave !

Par l'excellence de la traduction française, par la qualité de la copieuse introduction (116 pages) qui introduit véritablement à la lecture du texte, par la précision des notes infrapaginales qui aident à le comprendre, cette première édition critique du texte latin et cette première traduction française donnée en vis-à-vis sont tout à fait dignes d'éloges !

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Philosophie des sciences

Weyl (Hermann), *Philosophie des mathématiques et des sciences de la nature* / traduit de l'anglais par Carlos Lobo. – Genève : MétisPresses, 2017. – 411 p. – (ChampContrechamp Grands ouvrages). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 38 €. – isbn 978-2-940563-07-4.

Le physicien et mathématicien Hermann Weyl (1885-1955) n'est pas aussi connu du « grand public » que certains de ses contemporains comme Einstein ou Schrödinger,

personnages récurrents du monde de la vulgarisation. Toutefois, ses apports à la théorie des groupes, à la relativité générale, ou son rôle dans l'élaboration de l'invariance de jauge sont salués chez les physiciens aujourd'hui encore. Au travers de son œuvre scientifique, on pourrait même se risquer à dire que Weyl invente la figure moderne du physicien théoricien, situant la valeur de ses travaux dans leur beauté et leur rigueur mathématiques plutôt que dans d'éventuelles vérifications expérimentales.

Weyl a assisté à la naissance de la relativité ainsi qu'à celle de la mécanique quantique. Ces révolutions scientifiques ont bouleversé notre perception du monde : l'espace-temps devient une entité dynamique et le déterminisme cède le pas aux probabilités dans le monde microscopique, renouvelant par la même occasion les débats sur des notions philosophiques telles que le libre arbitre et les liens entre notre perception de l'Univers et sa réalité « objective ». Dans ce cadre historique, au confluent des sciences et de la philosophie, paraît cet ouvrage singulier en 1926, étendu et traduit de l'allemand vers l'anglais en 1949. Il s'agit, pour Weyl, de proposer un point de vue sur les questions fondamentales telles que la structure de l'espace et du temps, la nature des mathématiques, leur lien avec la « réalité », etc., et ce en synthétisant de manière originale la pensée des — nombreux — philosophes, mathématiciens et physiciens dont il a étudié les travaux. On pourrait rapprocher son entreprise de celle des « essais », avec une contrainte : les thèmes abordés doivent pouvoir être étudiés par les mathématiques ou la physique.

L'ouvrage *Philosophie des mathématiques et des sciences de la nature* est divisé en deux parties. La première traite des mathématiques ; y sont abordés la logique, les nombres et le continu, l'infini, et la géométrie. Soulignons deux exemples élégamment discutés par Weyl : l'émergence de l'ensemble des réels, donc du continu, comme un processus itératif infini se basant sur les naturels, et l'évolution de la géométrie depuis Euclide jusque Riemann. La deuxième partie aborde les sciences de la nature ; l'auteur y discute d'abord de l'espace-temps, de sa perception et de sa structure. Husserl joue un rôle important dans sa pensée à ce niveau. Ensuite, Weyl aborde la question de la méthodologie scientifique (très « duhémienne ») et de la matière — champs *versus* particules. Des annexes, ajoutées en 1949, contiennent des réflexions additionnelles sur la physique quantique, la chimie et la biologie notamment. Il convient de mentionner que cet ouvrage n'est pas un livre de vulgarisation : de bonnes notions dans les thématiques abordées seront nécessaires au lecteur pour appréhender le cheminement de Weyl.

Le texte est servi par une excellente traduction française de Carlos Lobo, qui a mis un soin particulier à respecter la terminologie en vigueur de nos jours dans le monde scientifique — tout au plus déplore-t-on un certain nombre de fautes de frappe. Des notes en bas de page et une longue préface (Françoise Balibar et Carlos Lobo) apportent un complément d'information pertinent à l'ouvrage original.

Des paradigmes tels que ceux de la relativité générale, de la mécanique quantique ou encore de la théorie des champs, ayant connu un essor considérable du vivant de Weyl, occupent une place prépondérante dans son ouvrage. Ils sont de nos jours devenus de la science « ordinaire » et enseignés comme tels. Est-ce à dire que, pour le lecteur, l'intérêt de ce livre est moindre en 2018 qu'en 1926 ? Ce n'est pas le cas, pour deux raisons principalement. La première est la rigueur avec laquelle l'auteur expose les idées de ses illustres prédé-

cesseurs et contemporains (d'Euclide à Mach en passant par Descartes, Galilée, Newton, Leibniz, Helmholtz, etc.) et sa connaissance détaillée de leur corpus : c'est à un véritable voyage, enrichissant, mais ardu, dans l'histoire des sciences et de la philosophie auquel le lecteur est convié. La deuxième est la clairvoyance de Weyl dans l'énoncé de ses opinions propres : il ne se perd ni en spéculations métaphysiques — « L'abandon de la quête métaphysique des causes en faveur de la loi est défendu par tous les grands scientifiques », écrit-il (p. 282) — ni en prophéties sur l'avenir de la science qui auraient pu, presque septante ans plus tard, être démenties. Il invite simplement le lecteur à partager avec lui ce que les sciences et la philosophie lui semblent offrir de plus stimulant : le mystère de l'intelligibilité du monde, spécifiquement au moyen de lois mathématiques. Quel message pouvons-nous y découvrir ? Laissons à Weyl le soin d'y répondre : « De moi-même, je sais que je suis ouvert à un monde spirituel d'images. C'est là que résident [sic] l'origine de mon intuition libre et de mon rapport à la vérité, aussi bien que de mon action libre et de ma responsabilité. Mais je suis en même temps en possession d'un corps humain et donc une créature vivante profondément semblable à tous les êtres vivants » (p. 304).

Fabien Buisseret
Haute école Louvain-en-Hainaut

Sartenaer (Olivier), *Qu'est-ce que l'émergence ?*. – Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 2018. – 128 p. – (Chemins philosophiques). – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 9,00 €. – isbn 978-2-7116-2770-7.

La collection qui publie cet ouvrage prévient du seul reproche qui pourrait être émis à son encontre : il est destiné aux étudiants et au « grand public cultivé ». De fait, on y entre vite dans un sujet somme toute assez pointu et le lecteur non préparé pourra se trouver déstabilisé par le vocabulaire technique introduit d'emblée. Cependant, la crainte d'une incompréhension est rapidement dissipée par la pédagogie et la rigueur d'Olivier Sartenaer, qui nous emmène de façon assurée dans le monde riche et complexe de l'émergence.

Ce concept d'émergence, particulier et pourtant dès l'abord assez vague, possède une longue histoire. Bien que le terme soit neuf, au regard de l'histoire des sciences et de la philosophie (puisqu'il apparut pour la première fois en 1875[1]), l'idée qu'il recouvre remonte en effet à Aristote. Les petits écarts historiques sont par conséquent utiles et intéressants afin de saisir l'essence de ce concept. L'auteur ne manque pas de resituer les diverses approches, pour une meilleure compréhension. Cet attrait pour la contextualisation se retrouve également à la fin du livre, où sont présentés puis analysés deux extraits d'œuvres majeures dans la généalogie de l'émergence, à savoir ceux de Mill et de Morgan. Ils permettent une réelle clarification et exemplification du concept traité dans cet ouvrage court mais précis.

Nous avons déjà évoqué le caractère vague de l'émergence et c'est ce qui constitue sa richesse. En effet, une pluralité d'interprétations existe et cela donne naissance, après une analyse méticuleuse, à différents types d'émergence. Ceux-ci sont expliqués, classifiés et régulièrement rappelés afin que le lecteur ne perde pas le fil du développement. L'émergence peut être synchronique, diachronique, ontologique ou épistémologique, par exemple.

1. Lewes, G. H. (1875). *Problems of Life and Mind*, vol. 2. Londres : Trübner & C°.

Toutes ces distinctions se justifient à la lumière de la complexité du concept et n'alourdissent en rien le propos général.

L'un des autres points forts de ce texte est la profondeur du travail d'analyse. L'auteur n'hésite pas à aller creuser, en toute honnêteté, les critiques faites à l'encontre du concept même d'émergence et qui portent sur son inconsistance. En plus d'enrichir la réflexion, cette approche permet au lecteur de ne pas être trop facilement convaincu par ce concept attractif, qui concilie aisément, en apparence, ces deux opposés déchirant depuis longtemps la philosophie des sciences que sont le monisme et le dualisme. Ce livre aurait pu s'arrêter à une présentation sommaire du concept, se centrant principalement sur cette prouesse pourtant superficielle. Les critiques apportées et décortiquées sont fortes mais enrichissantes puisqu'elles montrent que le concept, pour être consistant, doit se renforcer. Olivier Sartenaer ne finit pas son entreprise sur un échec et l'ouvre à diverses possibilités de réponses à ces critiques. L'émergence n'est donc pas aussi miraculeuse qu'elle puisse paraître et heureusement pour elle. Sans la formulation de ces critiques et, bien évidemment, des réponses qu'elles ont suscitées, le concept serait resté beaucoup trop vague et fluide et cela l'aurait empêché d'attiser l'intérêt des philosophes et scientifiques de toutes disciplines.

En conclusion, *Qu'est-ce que l'émergence ?* est un outil clair, concis et nécessaire à quiconque souhaite interroger les limites de deux attitudes philosophiques extrêmes et les nuances susceptibles d'y être apportées, dans des domaines aussi variés que la question du rapport âme/corps, des liens interdisciplinaires ou de notre relation au monde. L'émergence peut se questionner dans diverses disciplines comme la physique, la sociologie, les neurosciences ou l'économie. Afin d'entreprendre le voyage dans ce concept en toute sécurité, ce livre est un *must have* et surtout un *must read* !

Astrid Modera
Université de Namur

Astronomie

Riazuelo (Alain), *Les trous noirs : à la poursuite de l'invisible* / préface de Roland Lehoucq. – 2e édition. – Louvain-la-Neuve : DeBoeck Supérieur, 2018. – xvi, 223 p. – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 17,90 €. – isbn 978-2-8073-1558-7.

Les trous noirs sont un sujet dont tout le monde a entendu parler, mais sur lequel peu de personnes ont des idées précises, voire des idées tout court. Pourtant, la notion remonte au XVIIIe siècle, car ils furent introduits par Laplace et Michell, indépendamment, sur base d'un raisonnement très simple. Plus un corps est massif, plus grande doit être la vitesse nécessaire pour s'en échapper (vitesse de libération). Donc, si le corps est tellement massif que cette vitesse de libération dépasse la vitesse de la lumière, même celle-ci ne pourra en sortir et donc le corps sera parfaitement invisible (noir). Mais, à l'époque, cela était de la pure spéculation et rien ne prouvait que de tels objets puissent exister : le concept était parfaitement inutile. Il faudra attendre la relativité générale d'Einstein (1916) et la réinterprétation par Oppenheimer et Snyder de la solution de Schwarzschild à la fin des années

1930 pour que les astronomes se rendent compte de l'existence (abondante !) des trous noirs dans l'univers.

L'ouvrage d'Alain Riazuelo se propose de brosser une description complète des trous noirs, de leur formation et de leurs propriétés. Mais ceci présuppose un véritable cours de physique et d'astronomie, puisque le lecteur est censé être « naïf » dans ces domaines. C'est bien ce qu'on trouve dans l'ouvrage : lumière, matière (atomes, interactions), gravitation, relativité générale, vie et mort des étoiles, tout est passé en revue, de façon très pédagogique. Bien sûr, la plus grande partie de l'analyse concerne l'évolution d'une étoile, depuis sa formation jusqu'à son statut final, naine blanche, étoile à neutrons ou trou noir, en fonction de sa masse. Outre ces « cadavres d'étoiles », on trouve aussi les trous noirs supermassifs, au centre de nombreuses galaxies, et les hypothétiques trous noirs primordiaux, créés juste après le Big Bang. Ces deux derniers types restent d'ailleurs encore assez mystérieux.

La fin de l'ouvrage est consacrée à deux sujets d'actualité. Tout d'abord, « Des trous noirs pas tout à fait noirs » : comme l'a montré S. Hawking, récemment disparu, les lois de la mécanique quantique impliquent qu'un trou noir peut émettre des particules, dont la nature dépend de la température : c'est le « rayonnement de Hawking », par lequel le trou noir va s'évaporer progressivement. Évidemment, ceci n'a pas été observé (faute de temps, le processus étant très lent). Enfin, le dernier chapitre revient sur la découverte, en 2015, des ondes gravitationnelles, provenant de la fusion de deux trous noirs. Ici encore, Einstein avait prévu le phénomène, mais il a fallu un siècle pour le découvrir expérimentalement, tant les effets sont infimes.

Ouvrage étonnant ! Sous une apparence très simple, sans présupposé, il arrive à brosser un tableau très complet de toute la physique des trous noirs, balayant au passage des pans entiers de la physique et de l'astronomie. On ne peut qu'être sidéré par les progrès réalisés ces dernières années. Il faut évidemment recommander l'ouvrage à tout amateur d'astronomie : il ne sera pas déçu ! Seul bémol, bien que l'auteur cite plusieurs fois le Big Bang, il ne mentionne jamais Georges Lemaître, qui l'a conçu, ni même Fred Hoyle, qui l'a baptisé ainsi par dérision. Un comble pour un livre édité à Louvain-la-Neuve !

Jean-Pierre Antoine
Université catholique de Louvain

Physique

Livi (Roberto) - Politi (Paolo), *Nonequilibrium statistical physics : a modern perspective*. – Cambridge (UK) ; New York (NY) : Cambridge University Press, 2017. – xvii, 420 p. – 1 vol. relié de 19 × 25 cm. – 54,99 £. – isbn 978-1-107-04954-3.

Ce livre constitue une excellente référence pour les étudiants ou chercheurs qui veulent s'initier à la physique statistique de non-équilibre. Il est remarquablement écrit et illustré et ouvre des perspectives en direction de la plupart des champs d'applications récents de cette discipline.

Le livre débute par une étude sur le mouvement brownien et les équations différentielles stochastiques. Puis, il aborde la théorie de la réponse linéaire et les phénomènes de transport. De très beaux chapitres sont consacrés aux transitions de phase et aux phénomènes critiques hors de l'équilibre. Le lecteur découvrira une approche de la dynamique stochastique des surfaces et des interfaces (déposition aléatoire, rugosité, équation de Kardar-Parisi-Zhang, etc.). Un chapitre est dédié à la cinétique de l'émergence d'une phase ordonnée. La question est ici de savoir comment un système qui possède des états fondamentaux équivalents peut retourner à l'équilibre à partir d'un état désordonné (deux processus sont considérés avec leur dynamiques propres : le « coarsening » et la nucléation). Outre les physiciens et les chimistes, les biologistes seront très intéressés par le chapitre final dédié à la formation de « patterns » et au modèle de Turing, éléments essentiels pour une approche contemporaine de la morphogenèse. Cet ouvrage sera donc très utile pour des recherches interdisciplinaires. Signalons enfin qu'il possède 19 annexes très éclairantes sur les concepts mathématiques ou physiques de base nécessaires à la compréhension du texte.

J'aurais aimé avoir ce genre de livre à l'époque où j'ai étudié la mécanique statistique. Je ne peux donc que le recommander aux étudiants et aux chercheurs qui veulent se plonger dans ce domaine passionnant et naturellement ouvert à plusieurs disciplines de la matière et du vivant.

Dominique Lambert
Université de Namur

Baye (Daniel) - Dufour (Marianne) - Fuks (Benjamin), *Mécanique quantique : une introduction générale illustrée par des exercices résolus*. – Paris : Ellipses, 2017. – x, 516 p. – 1 vol. broché de 18.5 × 23.5 cm. – 49.00 €. – isbn 978-2-340-01937-9.

Daniel Baye est ingénieur civil physicien et professeur à l'École polytechnique de l'Université de Bruxelles. Il participe aux recherches des unités de Physique nucléaire et de Physique Quantique dans les domaines des réactions nucléaires, des faisceaux d'ions radioactifs utiles dans la compréhension de phénomènes d'astrophysique. C'est à l'occasion de collaborations dans son unité de recherche à l'ULB qu'il a accueilli Marianne Dufour et Benjamin Fuks, respectivement maître de conférence à l'Université de Strasbourg (où elle dirige l'Unité de suivi pédagogique en physique fondamentale) et professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, collaborateur au CMS du CERN, après un passage par Strasbourg. Tous trois sont impliqués dans l'enseignement de la physique mathématique et de la mécanique quantique en Faculté d'ingénieurs et c'est à l'intention de leurs étudiants qu'ils ont conçu cet ouvrage.

Ils proposent ici, sans formalisme déroutant, une introduction à la physique contemporaine : une introduction comportant une grande variété de problèmes résolus. On en compte 55 distribués assez uniformément dans les 14 chapitres.

Les quatre premiers chapitres concernent les fondements : physique de l'infiniment petit, origine des formalismes principaux, outils mathématiques, principes de la mécanique quantique : équation de Schrödinger, relations d'incertitude d'Heisenberg et théorème d'Ehrenfest (pour faire le lien entre classique et quantique).

Du chapitre 5 au chapitre 12, on entre profondément dans les applications : potentiels simples, traversée de barrière de potentiel, paquets d'ondes, moment cinétique orbital, particule dans un potentiel central, l'atome d'hydrogène, l'oscillateur harmonique, le spin. Les chapitres 13 et 14 sont consacrés aux interprétations non évidentes (inégalités et paradoxes) de la mécanique quantique et à une brève introduction à la mécanique quantique relativiste.

Parmi les exercices proposés, il me plait de citer : les neutrinos de la supernova SN1987a, la longueur d'onde Compton d'un positron, l'ordre de grandeur de l'étalement d'un paquet d'ondes, la découverte du deutérium, théorème du viriel, l'interprétation naïve du spin, … mais les 50 autres sont aussi très bien choisis.

Les connaissances habituelles d'un étudiant ayant réussi les épreuves de bachelier (les trois premières années dans l'enseignement supérieur) suffisent pour aborder, même seul, cet ouvrage. Des compléments de mathématiques sont ajoutés dans les 20 dernières pages. Un très bon index permet des aller et retour pour une bonne compréhension, surtout pour un lecteur isolé.

Le choix des sujets n'est pas le reflet des activités de recherche des trois auteurs. Toutefois, un bon enseignement s'appuie idéalement sur le vécu des acteurs, même si le niveau de complexité de la matière enseignée ici est moindre que celui qu'ils pratiquent dans leur unité de recherche (faisceaux d'ions radioactifs, problèmes à n corps, physique au LHC).

Les conseils de lecture proposés en fin de volume renvoient aux « classiques du quantique » comme Messiah, Feynman-Leighton-Sands, Landau et Lifshitz, Dirac (tous ces livres que l'on trouve toujours dans les bibliothèques, mais aussi à des réflexions récentes sur les aspects quantiques). Les enseignants de cette matière, en quête d'applications pour leur propre cours ou pour des questions d'examens, trouveront ici leur bonheur.

Guy Demortier
Université de Namur

Sciences de la Terre

L'adaptation au changement climatique : une question de sociétés / sous la direction d'Agathe Euzen, Bettina Laville et Stéphanie Thiébault ; [avant-propos de Alain Fuchs] ; [préfaces de Bettina Laville et Monique Barbut]. – Paris : CNRS Éditions, 2017. – 409 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 24,00 €. – isbn 978-2-271-09482-7.

Les modifications du climat touchent divers aspects de notre environnement physique (températures, précipitations, vents, niveaux des mers, …) lesquels affectent potentiellement l'ensemble des systèmes naturels et de nombreuses activités humaines. À cette complexité des impacts climatiques s'ajoute celle de la réponse humaine et biologique et leurs incertitudes. Dès lors, fournir un aperçu global des enjeux et difficultés de l'adaptation constitue un défi qu'un livre ne peut relever que partiellement. *L'adaptation au changement climatique* vise à susciter la réflexion, et la majorité des 42 contributions présentées

y contribuent. Il ne constitue cependant ni une mini-encyclopédie de l'adaptation, ni une synthèse facilement abordable.

Une difficulté de ce livre est qu'on perçoit mal son public cible. Le lecteur qui dispose de connaissances de base — chercheur, journaliste spécialisé, responsable d'une activité touchée par les changements climatiques… — trouvera des éléments intéressants, à condition qu'il ait le temps de les identifier. Cependant, la longueur limitée des contributions (environ 7 pages) ne lui fournira généralement qu'un début d'information qui devra être approfondi par ailleurs : les meilleures contributions posent de bonnes questions, mais génèrent une attente de réponses et semblent alors trop courtes. Quant au lecteur qui souhaite une introduction plus générale, il devra dépasser les difficultés que présente la structure de l'ouvrage : une bonne partie des titres de chapitres ne permettent que partiellement d'identifier leur contenu. Alors que certaines contributions fournissent une bonne introduction à leur sujet, d'autres sont d'un abord difficile, par exemple à cause d'énumérations de mesures politiques avec peu d'analyse critique ou en raison d'un style rédactionnel peu pédagogique.

Le premier chapitre est consacré aux définitions de l'adaptation. Comme le rappelle Jean Jouzel, la définition du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) se rapporte spécifiquement à une « démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu (…) » (p. 55). D'autres auteurs appellent à considérer l'adaptation comme motivée plus largement par des changements environnementaux ou socio-économiques. Cependant, une ambiguïté apparaît dans les autres chapitres : le terme « adaptation » est aussi utilisé en référence à des changements qui visent non pas à « faire avec » les changements environnementaux, mais bien à les limiter — c'est à dire, dans le cas du climat, à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Peut-être est-il possible d'y voir une forme d'adaptation socio-économique face à une problématique, mais cela génère un sentiment de confusion : la clarté voudrait qu'on évite d'inclure les réductions d'émissions (atténuation) dans l'adaptation, d'autant plus que ce changement de définition n'est pas explicité.

Un problème fondamental de l'adaptation est de définir les changements auxquels il faut tenter de répondre. Comme l'évoque notamment François Bertrand, il est parfois possible de prendre des mesures dites « sans regrets » : celles qui présentent des bénéfices dans diverses situations, et permettent ainsi de faire face à la variabilité climatique actuelle et/ou à différentes évolutions futures possibles. Mais pour construire certaines infrastructures ou gérer des forêts, savoir à quoi on peut s'attendre dans plusieurs décennies est important. Dès l'introduction, Agathe Euzen et ses coauteures indiquent que « le retard apporté à cette lutte [contre les changements climatiques] rend de plus en plus illusoire l'objectif de ne pas dépasser un réchauffement de plus de 2°C » (p. 21). C'est possible ! Mais ce serait aussi l'échec de l'Accord de Paris, qui vise explicitement à rester « bien en dessous » de 2°C et à « poursuivre l'action pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C par rapport au niveau pré-industriel » (décision 1/CP21 de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2015). Il est peut-être nécessaire de prendre en compte l'hypothèse d'un échec vis à vis de ces objectifs, mais cela aurait mérité une discussion dans le cadre d'un texte plus précis à propos des accords précédents.

Dans une contribution qui illustre la nécessité de se préparer à des événements pour lesquels il n'existe pas de référence passée, Pascal You et Aglaé Jézéquel suggèrent de considérer des « scénarios du pire », où l'on règle les questions d'incertitude en retenant le cas le plus défavorable possible au regard des principes physiques, et ce en application du principe de précaution (p. 368). Vincent Berdoulay et Olivier Soubeyran suggèrent, quant à eux, qu'il est « probable que nous nous éloignions de la zone encore gérable des 2°C » et citent un niveau de 3 à 4°C (p. 255). La dernière contribution du livre, par Virginie Maris, envisage cette question des scénarios futurs sous l'angle éthique : en supposant que la croissance économique contribue simultanément à aggraver les changements et à faciliter l'adaptation, ceux qui subissent le plus les changements sont probablement aussi ceux qui bénéficient le moins de la croissance, y compris pour s'adapter.

Parmi les nombreuses autres contributions, Patricia Gilbert et Irène Till-Bottraud exposent de manière accessible un aspect important de l'adaptation des espèces : la plasticité phénotypique, qui leur permet de développer certains caractères morphologiques en fonction de leur environnement, et donc de s'adapter rapidement, du moins dans certaines limites. Le lecteur intéressé par l'adaptation des milieux naturels peut poursuivre par la contribution de Gilles Bœuf relative à la biodiversité et par celle d'Antoine Gardel *et al.* à propos des écosystèmes littoraux. Ces contributions rappellent que des processus d'adaptation peuvent prendre place dans la mesure où les contraintes non climatiques ne sont pas trop fortes : par exemple, la migration d'espèces vers des régions plus froides quand les habitats ne sont pas trop fragmentés ou la protection par les écosystèmes côtiers lorsque ceux-ci sont préservés ou restaurés. En pratique, cela nécessite des choix de gestion de l'espace côtier qui peuvent être conflictuels, comme le montre Marta Torre-Schaub en ce qui concerne la France.

C'est avec clarté et sans détour que Romain Weikmans aborde les enjeux du financement international de l'adaptation, un sujet complexe, mais important pour les pays en développement. D'autres contributions abordent l'adaptation du point de vue de l'activité d'entreprises (SNCF, EDF), de la finance (risque climatique lié aux investissements), et des assurances (qui mériteraient probablement davantage de développement).

Un objectif de ce livre était de soutenir la mise en œuvre de l'Accord de Paris sur le climat, en particulier à l'occasion de la 23e conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, en 2017. Au vu du rythme relativement lent de ces négociations internationales et du fait que le développement des connaissances est également progressif, ce livre garde aujourd'hui sa pertinence, dans les limites qui étaient les siennes dès sa publication.

Philippe Marbaix
Université catholique de Louvain

Démanteler les barrages pour restaurer les cours d'eau / coordinateurs : Régis Barraud et Marie-Anne Germaine. – Versailles : Éditions Quae, 2017. – 240 p. + 8 planches. – (Update Sciences & technologies). – 1 vol. broché de 16 x 24 cm. – 39,00 €. – isbn 978-2-7592-2678-8.

Résultat d'un programme de recherche consécutif à la Directive cadre européenne de l'an 2000 sur l'eau visant notamment à restaurer la continuité écologique des cours d'eau en démantelant les barrages, cet ouvrage collectif de 13 auteurs, coordonnés par deux géographes Barraud et Germaine, fait le point sur les débats et conflits engendrés dans l'environnement des petites rivières du nord-ouest de la France.

Structuré en 3 grandes parties (« passé et présent de l'aménagement hydraulique : un passé encombrant », « la restauration écologique à l'épreuve des représentations sociales et des usages des vallées » et « les vallées en projets »), les chercheurs analysent, dans chaque cas à partir d'enquêtes et d'études détaillées, les attentes parfois contradictoires des parties prenantes de ces divers aménagements et en profitent pour mener une réflexion prospective vers une nouvelle approche écologique des fonds de vallées.

Quant au passé et au présent de ces aménagements hydrauliques, les deux camps qui s'affrontent — à savoir les libérateurs de rivières qui veulent lever les obstacles aux migrations piscicoles et au transit sédimentaire (diversité dynamique d'habitats) et les conservateurs du patrimoine qui veulent parfois en plus valoriser l'énergie verte (reconversion de moulins en microcentrales hydrauliques) — ne peuvent trouver la solution que dans le dialogue et la négociation qui restent toutefois parfois bien difficiles à organiser. La restauration écologique durable des lits fluviaux ayant comme objectifs de gestion la biodiversité et la continuité des rivières ordinaires devrait donc résulter d'un processus démocratique, ce qui implique que le projet des experts intègre aussi les aspirations des populations riveraines.

Le projet de restauration écologique mis à l'épreuve des représentations sociales et des usages des vallées se heurte parfois à des blocages de fond comme de forme résultant de la domination des savoirs savants (les techniciens) sur les savoirs profanes (les riverains). C'est pourquoi, la valorisation écologique (continuité longitudinale comme latérale) devrait faire l'objet de valorisations conjointes paysagères, territoriales, etc., en élaborant une grille multicritère collective afin des satisfaire toutes les tendances tant patrimoniales qu'écologiques.

Quant aux vallées en projets, les actions d'accès à la rivière devraient d'emblée prendre en compte ses usages multiples à l'échelle urbaine comme territoriale, ce qui implique une approche paysagère de l'aménagement et de la gestion de la rivière concernée. Mais le résultat durable d'un tel aménagement ne peut résulter que d'une mobilisation systématique de toutes les parties prenantes, à savoir les gestionnaires, les riverains et les usagers de ces fonds de vallées.

Ce livre s'adresse à tous les gestionnaires et protecteurs des milieux aquatiques ainsi qu'à tous les étudiants ou chercheurs en écologie, géographie, sociologie, etc. qui s'intéressent à l'aménagement et à la gestion durable de ces rivières et fonds de vallées trop souvent fragilisés par les multiples activités humaines.

Jean-Claude Micha
Université de Namur

Joye (Michel), *Terre : l'histoire de notre planète de sa naissance à sa disparition* / préface de Patrick De Wever. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017. – xxi, 349 p. – (Focus science). – 1 vol. broché de 15 × 22,5 cm. – 32,00 CHF. – isbn 978-2-88915-210-0.

Naissance, vie et mort de notre planète ! Traiter la Terre comme un organisme vivant serait-il usurpé ? Non évidemment, la Terre est vivante : elle tremble, bouge, s'exprime, ingère, émet des gaz et des liquides… L'auteur dresse malicieusement l'évolution de notre planète, qui comme toutes les autres planètes, est unique. Le livre suit le déroulé du temps, dimension essentielle à la compréhension de la géologie. On y développe donc la Terre, au fil du temps qui passe…

L'originalité du livre réside dans sa structure et dans son constant souci de vulgarisation.

À ma connaissance, la structure de l'ouvrage est inhabituelle : l'auteur y décrit l'histoire de la Terre, en débutant par la période géologique de l'Hadéen (de la naissance de la Terre — il y a environ 4,6 milliards d'années — jusqu'à 3,8 milliards d'années) durant laquelle Terre et Lune sont en formation (la Lune serait une partie de la Terre, éjectée de celle-ci suite à un impact particulièrement violent). L'histoire de notre planète se poursuit à l'Archéen (3,8 à 2,5 milliards d'années) et au Protérozoïque (2500 à 541 millions d'années) et les premières formes de vie, dans les (proto)océans. On se rappellera que la Terre a été une boule de neige (*Snowball Earth*) lors de glaciations globales, il y a 600 et 700 millions d'années environ. Il faudra alors attendre un gigantesque effet de serre par condensation du gaz carbonique atmosphérique d'origine volcanique (350 fois supérieur à celui d'aujourd'hui…) pour permettre une déglaciation générale… Le Paléozoïque, ou ère primaire, voit le développement de la vie, notamment sur les continents, jusqu'à la Pangée, ce supercontinent dont la dislocation serait une des causes de la plus dramatique extinction massive il y a environ 250 millions d'années et la mort de 90 à 95 % des espèces marines. Le Mesozoïque (ou ère secondaire) voit l'avènement des dinosaures et l'apparition des premiers mammifères. Le Cénozoïque, ou ère tertiaire, se caractérise par une rapide diversification des mammifères. Le premier primate (l'Homme fait partie de l'ordre des primates, rappelons-le) aurait été retrouvé au Maroc, dans des roches datant d'environ 58 millions d'années… Il ne faudra que quelques milliers d'années aux mammifères pour « coloniser » tous les continents de l'époque ! Les premiers hominidés viendront bien plus tard et le genre *Homo* (nous sommes des *Homo sapiens…*) est reconnu pour la première fois il y a environ 2,8 millions d'années. Quant au futur, il s'annonce aussi très agité : notre galaxie entrera en collision avec la galaxie Andromède dans 4 milliards d'années, avant que le soleil devienne une géante rouge générant la fusion complète de la Terre dans 6,5 milliards d'années. On a le temps de voir venir ! Mais entre-temps, *Homo sapiens* est devenu un agent géologique majeur, modifiant son environnement…

L'auteur veille en permanence à structurer son livre pour la vulgarisation. L'ouvrage est alimenté par 25 « éclairages » qui constituent de courts (2-3 pages) focus sur des événements précis et importants de l'histoire de la Terre. En outre, les concepts scientifiques spécialisés se présentent en caractères gras italiques dans le texte lors de leur première occurrence. Ils figurent comme entrées du glossaire, comprenant 30 pages, en fin d'ouvrage.

À ce glossaire s'ajoutent 40 autres pages d'une annexe traitant des sites géographiques d'importance géologique dont il est question dans l'ouvrage et 6 pages d'un tableau résumé de l'histoire géologique. L'ouvrage se termine en détaillant quelques thèmes bien particuliers, évoqués dans les précédents chapitres. Le tout est écrit en minimisant le rude jargon géologique, tout en restant scientifiquement irréprochable.

L'ouvrage veut clairement insérer les sciences de la Terre dans les principaux enjeux de société, notamment en insistant sur l'Anthropocène (nom proposé récemment pour une nouvelle époque géologique de la Terre, suite à l'Holocène) et le futur possible de notre planète à l'échelle de l'espère humaine actuelle.

L'ouvrage est très bien écrit, dans un style volontairement « direct ». Les chapitres et paragraphes sont volontairement concis. Le renvoi aux références, reprises par chapitre en fin de l'ouvrage, reste limité, ce qui facilite la lecture. L'ouvrage est illustré de schémas très didactiques et de photos en couleur.

On doit recommander ce livre pour l'étudiant en géologie, le scientifique, le journaliste et pour tout amateur désireux de comprendre la Terre, au fil du temps (géologique) qui passe, inlassablement...

Johan Yans
Université de Namur

Sciences paramédicales

Dufour (Michel) - Colné (Patrick) - Barsi (Stéphane), *Masso-kinésithérapie et thérapie manuelle pratiques*. – Tome 1 : *Bases fondamentales, applications et techniques*. – Tome 2 : *Applications régionales : Membre supérieur. Tête et tronc supérieur*. – Tome 3 : *Applications régionales : Membre inférieur. Tronc inférieur* / avec la collaboration de Gilles Barette, Jean-Pierre Bleton, Martial Delaire, Xavier Dufour, Jean-Louis Estrade, Michel Gedda, Stéphane Kirscher, Virginie Sauvageot, Claude Shang, Michèle Viel et François Zimmermann. – [2e édition]. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2017. – 333, 408, 378 p. – 3 vol. brochés de 21 × 27 cm. – 103,00 €. – isbn 978-2-294-75978-9.

Ce corpus composé de trois volumes, dont il s'agit de la seconde édition, est rédigé par une sommité mondiale en kinésithérapie. Enseignant en anatomie et en kinésithérapie aux IFMK de l'EFOM Boris Dolto, Berck, Casablanca et Paris XIII, Michel Dufour est également fondateur de l'organisme de formation Applicanat.

Depuis la première publication de son ouvrage *Anatomie de l'appareil locomoteur* (2002), les manuels de Michel Dufour sont devenus des références dans l'enseignement de l'anatomie ainsi que dans la mise en pratique de la thérapie manuelle dans la formation initiale de la kinésithérapie en France.

D'emblée, il ne semble qu'aucune recette, ni aucun dogme ne soient énoncés dans ses trois volumes. Il s'agit d'un recueil des différents temps de la pratique de la masso-kinésithérapie : le contexte, le domaine d'action, les différents composants de son action et les

différents moyens employés, avec leur mise en œuvre région par région. Ce corpus propose non seulement un descriptif documenté à profusion des différents gestes professionnels, mais également des données contemporaines en matière de diagnostic kinésithérapique.

Le premier tome, intitulé *Bases fondamentales, applications et techniques*, propose aux lecteurs non-initiés à la kinésithérapie un aperçu détaillé de la profession ainsi que les différentes techniques, les matériels et le bilan diagnostique employés par le kinésithérapeute. Il s'articule en dix chapitres allant de la présentation de la kinésithérapie aux techniques ou méthodes particulières à la profession en passant par les grandes orientations de la pratique, les examens cliniques et diagnostiques. L'auteur débute par la présentation de la profession par différents principes théoriques faisant référence aux rôles et à la place du kinésithérapeute au sein du processus de soin. Il donne un aperçu des différentes conditions d'exercice que ce soit dans le milieu salarié, libéral ou mixte. Il poursuit par la description du contexte de soin en répertoriant de manière détaillée les différents matériels d'examen et de rééducation. Il démontre l'importance de la réalisation par le kinésithérapeute de l'examen clinique en reprenant les différents bilans diagnostiques utilisés à ce jour ainsi que la méthodologie à respecter. Il termine par la présentation de différentes techniques utilisées en kinésithérapie comme la massothérapie, les mobilisations passives, actives ou spécifiques. L'ensemble de l'ouvrage est accompagné d'illustrations permettant aux lecteurs de mieux visualiser et de mieux comprendre les différentes structures anatomiques.

Dans les tomes deux et trois, l'auteur aborde des thématiques innovantes pour un public débutant, telles que celle du périnée, de l'articulation temporo-mandibulaire — même s'il s'agit d'une articulation complexe — ainsi qu'une partie du système viscéral. Il est très intéressant d'aborder cette dernière, d'autant que l'on connaît les répercussions d'un dysfonctionnement viscéral dans diverses pathologies connues comme la lombalgie commune, par exemple[2]. Cette discipline essentielle est malheureusement rarement abordée, voire complètement occultée, dans les écoles de masso-kinésithérapie.

Dans chacun de ces deux tomes, chaque chapitre est suffisamment détaillé : les rappels anatomiques succincts nous permettent de situer avec précision la localisation du muscle ou de l'articulation à palper, à tester et à traiter[3]. De même, chaque section contient plusieurs photographies descriptives de l'acte kinésithérapique à effectuer. Chaque technique comprend, pour chaque muscle à tester, un descriptif insertion-terminaison, des photographies avec le ou les muscles à traiter en pointillé ainsi qu'un fléchage destiné à expliquer le sens de la manipulation. Qui plus est, un lien est disponible afin de visualiser, au moyen de supports vidéo, la plupart des techniques évoquées dans l'ouvrage.

Néanmoins, malgré un beau canevas progressif énoncé par l'auteur dans le chapitre « Masso-kinésithérapie générale intégrée », son ouvrage semble se réduire à un assemblage de techniques sans les contextualiser, ce qui en fait une compilation réussie, mais sans

2. Pour en savoir plus, se référer à l'excellent ouvrage de Jean-Pierre Barral et de Pierre Mercier intitulé *Manipulations viscérales*, tome 1 (Elsevier, 2004, 250 p.).
3. Reconnaissons que la classification des muscles entre les membres et le tronc est souvent discutable : certaines d'entre eux font anatomiquement plutôt partie du tronc, tout en ayant une fonction importante au niveau d'une ceinture (scapulaire ou pelvienne). Le choix retenu par les auteurs reflète un découpage crédible, mais reste toutefois discutable.

aucun lien avec les différentes pathologies que l'on peut rencontrer sur le terrain. On ne peut que le déplorer. De même, on peut émettre quelques regrets vis-à-vis de l'insertion, par l'auteur, de photographies non actualisées afin d'illustrer le matériel utilisé par le kinésithérapeute, matériel qui n'est plus tout à fait approprié. Il est également regrettable que l'auteur n'ait pas pris la peine de décrire certaines nouveautés telle que la cryothérapie. Par ailleurs, s'il est vrai que le kinésithérapeute doit être un pédagogue vis-à-vis de son patient, il ne faudrait pas y voir une certaine hiérarchisation au sein du processus de soin faisant du praticien celui qui sait et du patient celui qui ignore. À l'heure actuelle, le kinésithérapeute doit aussi et surtout être considéré comme un accompagnateur qui se sert de son savoir pour orienter de manière efficace un patient qui se doit d'être l'acteur de sa rééducation. Reconnaissons que cette approche magistrale est davantage présente dans le premier tome. Enfin, dans le chapitre traitant des « chaînes musculaires », aucun ouvrage présent dans la bibliographie ne fait référence aux pères fondateurs de cette discipline que sont Mezières, Busquet ou encore Godelieve Denys-Struyf. Néanmoins, l'auteur s'appuie sur de solides références telles que l'ouvrage de Luigi Stecco en fasciathérapie ou encore le bilan musculaire de Daniels et Worthingham. Il fait également montre de sérieuses références, comme l'article de Serge Theys consacré au rôle de la fonction respiratoire sur le bon fonctionnement du retour veineux[4], ou encore des techniques tirées directement de celles inspirées par Raymond Sohier, père fondateur de la kinésithérapie et de la thérapie manuelle moderne, qui vient tout juste de nous quitter.

Quoi qu'il en soit, cet ouvrage est adapté à l'étudiant comme au professionnel qui, l'un et l'autre, sont souvent confrontés, comme le souligne l'auteur, « à un dédale de propositions d'analyse, de techniques désuètes, de classements obscurs » (tome 3, p. x). Cette trilogie est publiée à point nommé pour qui souhaite se perfectionner, grâce à un corpus de techniques qui est tout à la fois pédagogique, fourni et illustré.

Thibault Barbier
Haute école Louvain-en-Hainaut

Olivier Carrillo
Kinesport & Haute école Louvain-en-Hainaut

4. Theys, S., & Duez, D. (2004). Rôle du facteur respiratoire dans le retour veineux des membres inférieurs : en manque d'inspiration ?. *Kinésithérapie Les Annales*, (35-36), 32-40.

Ouvrages reçus à la rédaction

Bonobos : Unique in Mind, Brain, and Behavior / edited by Brian Hare and Shinya Yamamoto. – Oxford : Oxford University Press, 2017. – xiv, 304 p. – 1 vol. broché de 24,5 × 19 cm. – £44.99. – isbn 978-0-19-872852-8.

Démanteler les barrages pour restaurer les cours d'eau / coordinateurs : Régis Barraud et Marie-Anne Germaine. – Versailles : Éditions Quae, 2017. – 240 p. + 8 planches. – (Update Sciences & technologies). – 1 vol. broché de 16 x 24 cm. – 39,00 €. – isbn 978-2-7592-2678-8.

Guide du diagnostic en ergothérapie / Bénédicte Dubois, Sarah Thiébaut Samson, Éric Trouvé, Marine Tosser, Géraldine Poriel, Leïla Tortora, Karine Riguet, Jérémy Guesné. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – xiii, 81 p. – (Ergothérapie). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 19,90 €. – isbn 978-2-35327-439-0.

La mécanique à la lumière de son histoire : de la modernité à l'époque contemporaine. – Paris : Librairie Blanchard, 2016. – x, 211 p. – (Sciences et techniques en perspective, 2e série, vol. 18, fasc. 2). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 28,00 €. – isbn 978-2-85367-272-6.

Médecine de montagne : alpinisme et sports de montagne / coordonné par Jean-Paul Richalet et Jean-Pierre Herry. – 5e édition. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier-Masson, 2017. – xiii, 364 p. – (Sport). – 1 vol. broché de 13,5 × 21 cm. – 55 €. – isbn 978-2-29475-484-5.

Science et religion / sous la direction de Claude Dargent, Yannick Fer et RaphaëL Liogier. – Paris : CNRS éditions, 2017. – 250 p. – (CNRS Alpha). – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 25,00 €. – isbn 978-2-271-08941-0.

Un défi pour la planète : les objectifs de développement durable en débat / sous la direction de Patrick Caron et de Jean-Marc Châtaigner. – Marseille : IRD éditions, 2017. – 476 p. – 1 vol. électronique. – 23,99 €. – isbn 978-2-7099-2412-2.

Albouy (Vincent), *Étonnants envahisseurs : ces espèces venues d'ailleurs*. – Versailles : Éditions Quae, 2017. – 159 p. – 1 vol. électronique. – 16,00 €. – isbn 978-2-7592-2662-7.

Alembert (Jean Le Rond d'), *Mélanges de littérature, d'histoire et de philosophie* / édition critique par Martine Groult. – Paris : Classiques Garnier, 2018. – 1245 p. – (Lire le dix-huitième siècle ; 2). – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 76,00 €. – isbn 978-2-406-06362-9.

Arnould (Jacques), *Oublier la Terre ? La conquête spatiale 2.0.* – Paris : Le Pommier, 2018. – 164 p. – (Essai Le Pommier !). – 1 vol. broché de 13,5 ×20 cm. – 17,00 €. – isbn 978-2-7465-1690-8.

Bartoli (Silvana), *La felicità di una donna : Émilie du Châtelet tra Voltaire e Newton*. – Firenze : Leo S. Olschki editore, 2017. – 238 p. – (Biblioteca dell'« Archivum Romanicum ». Serie 1 : Storia, letteratura, paleografia ; 479). – 1 vol. broché de 17 ×24 cm. – 25,00 €. – isbn 978-88-222-6546-3.

Battu (Daniel), *L'histoire et l'économie du monde accompagnées par les TIC*. – Londres : ISTE éditions, 2018. – 220 p. – (Histoire des sciences et des techniques). – 1 livre électronique. – 9,90 €. – isbn 978-1-78406-366-5.

Baudet (Jean C.), *Histoire de la biologie et de la médecine*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2018. – v, 361 p. – 1 vol. broché de 17 ×24 cm. – 29,00 €. – isbn 978-2-8073-1513-6.

Baye (Daniel) - Dufour (Marianne) - Fuks (Benjamin), *Mécanique quantique : une introduction générale illustrée par des exercices résolus*. – Paris : Ellipses, 2017. – x, 516 p. – 1 vol. broché de 18.5 × 23.5 cm. – 49.00 €. – isbn 978-2-340-01937-9.

Bricmont (Jean), *Making sense of quantum mechanics*. – [s. l.] : Springer International Publishing, 2016. – x, 331 p. – 1 vol. électronique. – 41,64 €. – isbn 978-3-319-25889-8.

Bricmont (Jean), *Quantum sense and nonsense*. – [s. l.] : Springer International Publishing, 2017. – x, 286 p. – 1 vol. électronique. – 23,79 €. – isbn 978-3-319-65271-9.

Bruno (Giordano), *The ash wednesday supper* / A new translation of « La cena de le ceneri » with the Italian text annotated and introduced by Hilary Gatti. – Toronto ; Buffalo ; London : University of Toronto Press, 2018. – lxiv, 302 p. – (The Lorenzo Da Ponte italian library). – 1 vol. relié de 16,5 × 23,4 cm. – $85,00. – isbn 978-1-4875-0144-0.

Chardin (Gabriel), *L'insoutenable gravité de l'univers*. – Paris : Le Pommier, 2018. – 464 p. – 1 vol. broché de 13.5 × 20 cm. – 25.00 €. – isbn 978-2-746-51083-8.

Crommelinck (Marc) - Lebrun (Jean-Pierre), *Un cerveau pensant : entre plasticité et stabilité. Psychanalyse et neurosciences*. – Toulouse : Éditions érès, 2017. – 248 p. – (Humus : entretiens). – 1 vol. broché de 11 × 17 cm. – 17,00 €. – isbn 978-2-7492-5641-2.

Delahaye (Jean-Paul), *Les mathématiques se plient au jeu : du poker à l'origami, 20 enquêtes ludiques*. – Paris : Belin-Pour La Science, 2017. – 183 p. – (Bibliothèque scientifique). – 1 vol. broché de 18,5 × 24,5 cm. – 24,00 €. – isbn 978-2-410-00485-4.

Fludd (Robert), *Œuvres complètes*. – Vol. 3 : *Histoire métaphysique, physique et technique des deux cosmos* / traduit du latin par François Fabre. – Paris : S.É.H.A. ; Milan : Archè edizioni, 2017. – 341 p. – (Textes et travaux de Chrysopœia ; 19). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 32,00 €. – isbn 978-88-7252-351-3.

Gassendi (Pierre), *Examen de la philosophie de Robert Fludd* / texte présenté, traduit et annoté par Sylvie Taussig avec le fac-similé du texte latin. – Paris : S.É.H.A. ; Milan : Archè, 2016. – 358 p. – (Textes et travaux de Chrysopœia ; 18). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 36,00 €. – isbn 978-2-9518278-7-5.

Graney (Christopher M.), *Mathematical disquisitions : The booklet of theses immortalized by Galileo*. – Notre Dame : University of Notre Dame Press, 2017. – xxix, 145 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – $ 25.00. – isbn 978-0-268-10242-5.

Joye (Michel), *Terre : l'histoire de notre planète de sa naissance à sa disparition* / préface de Patrick De Wever. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017. – xxi, 349 p. – (Focus science). – 1 vol. broché de 15 × 22,5 cm. – 32,00 CHF. – isbn 978-2-88915-210-0.

Klissouras (Vassilis), *Les bases de la physiologie du sport : 64 concepts clés* / traduction de Peter Jenoure revue et validée par Frédéric Deplesse. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2017. – xiii, 185 p. – (Sport). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 29,00 €. – isbn 978-2-294-75230-8.

La Vallée Poussin (Charles-Jean de), *Collected works = Œuvres scientifiques*. – Vol. 4 : *Potential theory, conformal representation, complex functions = Théorie du potentiel, représentation conforme, fonctions d'une variable complexe* / édité par Paul Butzer, Jean Mawhin et Pasquale Vetro. – Bruxelles : Académie royale de Belgique ; Palermo : Circolo matematico di Palermo, 2017. – xxvii, 536 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 50 €. – isbn 978-88-943123-0-0.

Léon (Jacques), *À la recherche de l'espace et du temps perdus*. – Paris : Ellipses poche, 2017. – 270 p. – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 9.00 €. – isbn 978-2-340-01753-5.

Livio (Mario), *Fabuleuses erreurs de Darwin à Einstein* / traduit de l'anglais et préfacé par Jean Audouze. – Paris : CNRS éditions, 2017. – 339 p. – (Le banquet scientifique). – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 23,00 €. – isbn 978-2-271-09401-8.

Morange (Michel), *Une histoire de la biologie*. – Paris : Éditions du Seuil, 2016. – 429 p. – (Points. Sciences ; S220). – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 10,80 €. – isbn 978-2-7578-2917-2.

Mottana (Annibale), *Galileo e « la bilancetta » : un momento fondamentale nella storia dell'idrostatica e del peso specifico*. – Firenze : Leo S. Olschki editore, 2017. – xvi, 207 p. – (Biblioteca di « Galilæana » ; 7). – 1 vol. broché de 17 x 24 cm. – 28,00 €. – isbn 978-88-222-6510-4.

Moritz (Joshua M.), *The role of theology in the history and philosophy of science*. – Leiden ; Boston : Brill, 2017. – 105 p. – (Theology). – 1 vol. électronique. – 70,00 €. – isbn 978-90-04-36022-8.

Ogden (Jane), *Psychologie de la santé* / avec la collaboration de Cécile Dantzer, Estelle Fall, Marie Izaute, Emmanuelle Le Barbenchon, Carine Meslot, Lisa Moussaoui, Laurent Muller, Sonia Pellissier, Caroline Poulet et Jean-François Verlhiac ; traduction d'Olivier

Desrichard, Anaëlle Blum et Aurélie Gauchet. – 3e édition. – Louvain-la-Neuve : DeBoeck Supérieur, 2018. – 606 p. – 1 vol. broché de 27,5 × 21 cm. – 45,00 €. – isbn 978-2-8073-1939-4.

Petit (Annie), *Le système d'Auguste Comte : de la science à la religion par la philosophie*. – Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 2016. – 384 p. – (Varia). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 32,00 €. – isbn 978-2-7116-2699-1.

Rey (Freddy), *Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal*. – Versailles : Éditions Quae, 2018. – 114 p. – (Matière à débattre & décider). – 1 vol. broché de 14,5 × 21 cm. – 25,00 €. – isbn 978-2-7592-2777-8.

Riazuelo (Alain), *Les trous noirs : à la poursuite de l'invisible* / préface de Roland Lehoucq. – 2e édition. – Louvain-la-Neuve : DeBoeck Supérieur, 2018. – xvi, 223 p. – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 17,90 €. – isbn 978-2-8073-1558-7.

Sartenaer (Olivier), *Qu'est-ce que l'émergence ?*. – Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 2018. – 128 p. – (Chemins philosophiques). – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 9,00 €. – isbn 978-2-7116-2770-7.

Sesiano (Jacques), *L'arithmétique de Pamiers : traité mathématique en langue d'oc du XVe siècle*. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018. – 380 p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 49,50 CHF. – isbn 978-2-88915-242-1.

Weyl (Hermann), *Philosophie des mathématiques et des sciences de la nature* / traduit de l'anglais par Carlos Lobo. – Genève : MétisPresses, 2017. – 411 p. – (ChampContrechamp Grands ouvrages). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 38 €. – isbn 978-2-940563-07-4.

Zee (Anthony), *Vertigineuses symétries : la recherche de la beauté en physique contemporaine* / traduction de Michel Le Bellac ; préface de Roger Penrose. – Les Ulis : EDP Sciences, 2018. – xxiv, 363 p. – (Une introduction à ...). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 34,00 €. – isbn 978-2-7598-2125-9.

CONDITIONS D'ABONNEMENT (2018, VOL. 189)

L'abonnement est annuel, à partir de janvier, et court jusqu'à ordre contraire.

En Belgique et au Luxembourg	45,00 €
abonnement de soutien	150,00 €
abonnement étudiant	22,50 €
Pour la France (TVA comprise)	49,82 €
Pour les autres pays (toutes taxes incluses)	60,67 €
Prix au numéro trimestriel (TVA comprise)	15,00 à 25,00 €
Pour paiement par chèque	ajouter 25,00 €

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

61, rue de Bruxelles – 5000 Namur – Belgique
ING. (Avenue Marnix 24 B – 1000 Bruxelles)
IBAN : BE35 3500 0659 7537
BIC : BBRUBEBB
Fax : +32 (0)81 72 44 65
TVA : BE 0407 654 574

Revue publiée avec l'aide financière

- du Fonds National de la Recherche Scientifique
- de l'Université de Namur (ESPHIN)
- du Fonds Wernaers



BELGE SCIENCES
PLURIDISCIPLINAIRE
PHILOSOPHIE
HISTOIRE

FRANCOPHONE

HAUTE VULGARISATION
ACCESSIBLE
INFORMATIONS VALIDÉES
SCIENTIFIQUE



Revue des QUESTIONS SCIENTIFIQUES

ISSN 0035-2160

Actualité, histoire et philosophie des sciences

Tome 189, N°3, 2018

www.rqs.be

CE NUMÉRO : 15 €